

TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN  
CIENCIAS DEL MAR

# ***DISTRIBUCIÓN Y AMBIENTES DE DESARROLLO DE RODOLITOS EN EL PACÍFICO Y CARIBE DE COSTA RICA***

Livia Centelles Felici

Tutoras:

Ana María Blázquez Morilla (Universidad Católica de Valencia)

Cindy Fernández García (Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología  
(CIMAR) de la Universidad de Costa Rica)

2019-2020



Facultad de Veterinaria  
y Ciencias Experimentales  
Universidad Católica de Valencia  
San Vicente Mártir

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, a mis dos tutoras Ana María Blázquez Morilla, Vicedecana del Grado de Ciencias del Mar de la Universidad Católica de Valencia, profesora a lo largo de la carrera y una persona digna de admirar que me ha apoyado ciegamente pese a las circunstancias, y a Cindy Fernández García, subdirectora del Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología (CIMAR) de la Universidad de Costa Rica, una gran profesional con la que me ha encantado trabajar aunque haya sido por poco tiempo y a distancia.

A mi abuela por estar *sempre patint* y darme apoyo con sus velas. A mi hermana por ser el pilar fundamental en mi vida y *wasambear* tanto; y a mi madre, por supuesto, por apoyarme en todas las decisiones, estar siempre a mi lado, por permitir que me fuera a la otra parte del océano y por hacer posible que haya estudiado la mejor carrera del mundo.

A Enric por quererme, apoyarme, aguantarme y estar siempre a mi lado, aunque el mundo no nos ponga las cosas fáciles.

Y, por último, a ti papá, que, aunque no estés, sé de sobra que has seguido mi paso por la universidad y estás flipando con todo lo que he conseguido.

*Pura vida.*

## ÍNDICE

|                                |    |
|--------------------------------|----|
| RESUMEN .....                  | 1  |
| INTRODUCCIÓN .....             | 3  |
| OBJETIVOS .....                | 10 |
| OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....     | 10 |
| RESULTADOS .....               | 22 |
| DISCUSIÓN.....                 | 40 |
| CONCLUSIONES .....             | 44 |
| LÍNEAS FUTURAS .....           | 45 |
| BIBLIOGRAFÍA Y WEBGRAFÍA ..... | 46 |
| ANEXO I .....                  | i  |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| <i>Figura 1: Clasificación actual de las algas coralinas no geniculadas (Bittner et al., 2011). * géneros de algas coralinas no geniculadas que incluyen especies formadoras de rodolitos, adaptado de Robinson (2018).</i>   | 4  |
| <i>Figura 2: Un modelo para la estructura y dinámica de los rodolitos. La morfología puede variar con la luz, los nutrientes, la temperatura, el movimiento y las especies. Se pueden romper fragmentos durante el movimiento del agua, bioturbación, pastoreo y arrastre. Estos procesos también producen arena y partículas calcáreas más pequeñas. Fuente: (Foster, 2001).</i> | 5  |
| <i>Figura 3: Distribución mundial de los mantos de rodolitos. Los cuadros indican una distribución en manto Bosence (1983), los círculos indican la ubicación de los lechos individuales y las bandas amarillas indican las grandes extensiones. Modificado de Foster (2001).</i>   | 6  |
| <i>Figura 4: Extensión de rodolitos en el fondo del mar. Fuente: Fundación CRAM (2014).</i>   | 7  |
| <i>Figura 5: Mapa base con batimetría del fondo marino. Fuente: ArcMap.</i>   | 15 |
| <i>Figura 6: Mapa batimétrico con etiquetas de provincias de Costa Rica. Fuente: ArcMap.</i>  | 15 |
| <i>Figura 7: Mapa con las Áreas de Conservación que incluye el SINAC. Fuente: ArcMap.</i>   | 17 |
| <i>Figura 8: Mapa de las áreas de Conservación incluidas en el SINAC con todas las áreas silvestres protegidas. Fuente: ArcMap.</i>   | 18 |
| <i>Figura 9: Mapa con las áreas de conservación incluidas en el SINAC y las áreas silvestres protegidas con importancia en el medio marino. Fuente: ArcMap.</i>   | 19 |
| <i>Figura 10: Porcentaje de aparición de las muestras en cada tipo de sustrato</i>  | 24 |
| <i>Figura 11: Porcentaje de aparición de las muestras en cada profundidad agrupada</i>  | 25 |
| <i>Figura 12: Distribución general de los rodolitos en Costa Rica.</i>  | 27 |
| <i>Figura 13: Localización de las muestras de rodolitos en el Área de Conservación de Guanacaste (ACG).</i>   | 27 |
| <i>Figura 14: Localización de las muestras de rodolitos en el Área de Conservación de Tempisque (ACT).</i>  | 28 |
| <i>Figura 15: Localización de las muestras de rodolitos en el Área de Conservación de Tempisque (ACT).</i>  | 29 |
| <i>Figura 16: Localización de las muestras de rodolitos en el Área de Conservación del Pacífico Central (ACOPAC).</i>   | 30 |
| <i>Figura 17: Localización de las muestras de rodolitos en el Área de Conservación de Osa (ACOSA)</i>   | 30 |
| <i>Figura 18: Localización de las muestras en el Área de Conservación de Osa (ACOSA).</i>   | 31 |
| <i>Figura 19: Localización de las muestras en el Área de conservación de Osa (ACOSA).</i>   | 31 |
| <i>Figura 20: Localización de las muestras de rodolitos en el Área de Conservación Marina de Cocos (ACMC).</i>  | 32 |
| <i>Figura 21: Localización de las muestras en el Área de Conservación de La Amistad-Caribe (ACLAC).</i>   | 33 |

|   |           |
|---|-----------|
| <i>Figura 22: Localización de las muestras en el Área de Conservación de La Amistad-Caribe (ACLAC).....</i> | <i>34</i> |
| <i>Figura 23: Área 1 de protección o vigilancia de rodolitos propuesta para Costa Rica.....</i>             | <i>36</i> |
| <i>Figura 24: Área 2 de protección o vigilancia de rodolitos propuesta para Costa Rica.....</i>             | <i>37</i> |
| <i>Figura 25: Área 3 de protección o vigilancia de rodolitos propuesta para Costa Rica.....</i>             | <i>37</i> |
| <i>Figura 26: Área 4 de protección o vigilancia de rodolitos propuesta para Costa Rica.....</i>             | <i>38</i> |
| <i>Figura 27: Área 5 de protección o vigilancia de rodolitos propuesta para Costa Rica.....</i>             | <i>39</i> |
| <i>Figura 28: Principales ríos de la costa Caribeña. Fuente Battistini y Bergoeing (1984).....</i>          | <i>42</i> |

## ÍNDICE DE TABLAS

|  |           |
|--|-----------|
| <i>Tabla 1: Designación numérica para la identificación de cada tipo de sustrato. ....</i>   | <i>13</i> |
| <i>Tabla 2: Áreas de conservación con sus respectivos acrónimos. ....</i>  | <i>16</i> |
| <i>Tabla 3: Atributos extraídos de la capa: áreas silvestres protegidas.....</i>   | <i>18</i> |
| <i>Tabla 4: Resultados estadísticos extraídos de la media, mediana y moda de cada tipo de sustrato.<br/>.....</i>                                | <i>22</i> |
| <i>Tabla 5: Resultados estadísticos de frecuencia del tipo de sustrato.....</i>  | <i>23</i> |
| <i>Tabla 6: Resultados estadísticos de la media, mediana y moda de las profundidades .....</i>   | <i>24</i> |
| <i>Tabla 7: Resultados estadísticos de frecuencia de cada profundidad agrupada. ....</i>   | <i>25</i> |
| <i>Tabla I.1: Base de datos creada a partir de las muestras presentes en el CIMAR y en el Herbario<br/>de la Universidad de Costa Rica. ....</i> | <i>i</i>  |

## RESUMEN

Los rodolitos son organismos de vida libre compuestos principalmente de algas rojas coralinas no geniculadas. Su distribución es sumamente discontinua, forman amplios mantos de rodolitos que pueden llegar a albergar un gran número de especies formando grandes ecosistemas. A nivel mundial encontramos algunos lugares en los que estas algas se encuentran protegidas, no siendo el caso de Costa Rica. Por tanto, es en las costas de este país donde se centra este estudio, tanto en la costa atlántica como la pacífica cuyo objetivo es la descripción de los ambientes de desarrollo de los rodolitos y su distribución y generar recomendaciones para ampliar y mejorar las condiciones de protección.

En este estudio se han analizados variables ambientales como la profundidad y el sustrato que se han relacionado con la distribución de estos organismos. Se ha obtenido que el 63,1% de las muestras se encuentran en un sustrato de tipo arenoso y el 51,2% de las muestras se obtuvieron a una profundidad entre los 8 y los 11 metros. Por otro lado, tras la realización de mapas de distribución se obtuvo que los rodolitos tienen mayor abundancia en la costa del Pacífico. Por último, tras una revisión bibliográfica se han propuesto algunas recomendaciones para la posible protección de estas algas.

Por todo ello, se puede concluir que los rodolitos han mostrado preferencia por ambientes que presentan un sustrato de tipo arenoso y por profundidades de entre 8 y 11 metros, que la costa del Pacífico alberga una mayor cantidad de rodolitos y que la protección de ciertas zonas podría favorecer el crecimiento y desarrollo de los grandes ecosistemas que pueden formar estas algas.

**PALABRAS CLAVE:** *Rodolitos, distribución, protección, sustrato, profundidad...*

## ABSTRACT

Rhodoliths are free-living organisms composed mainly of non-geniculate red coral algae. Their distribution is extremely discontinuous, forming communities called “rhodoliths beds” that can hold a large number of species forming large ecosystems. Worldwide we find some places where these algae are protected, not being the case of Costa Rica. Therefore, this study is focused on the coasts of this country both on the Atlantic and the Pacific coasts. Its objective is to describe the development environments of rhodoliths and their distribution and generate recommendations to extend and improve the protection conditions

In this study, environmental variables such as depth and substrate have been analyzed and related to the distribution of these organisms. It has been obtained that 63.1% of the samples are in a sand substrate and 51.2% of the samples were obtained at depth between 8 and 11 metres. On the other hand, after making distribution maps, it was obtained that rhodoliths were in the majority on the Pacific coast. Finally, after a literature review, some recommendations for the possible protection of these algae have been proposed.

After all, it can be concluded that rhodoliths have shown a preference for environments with sandy substrate and depths between 8 and 11 meters, that the Pacific coast has a greater quantity of rhodoliths and that the protection of certain areas could favor the growth and development of the large ecosystems that can form these algae.

**KEY WORDS:** *Rhodolith, distribution, protection area, substrate, depth...*



## INTRODUCCIÓN

Las algas rojas coralinas (Corallinales, Rhodophyta) se encuentran en la mayoría de los hábitats marinos, desde las regiones tropicales hasta las polares y desde la zona intermareal hasta los 268 metros de profundidad (Littler *et al.*, 1985). Estas algas se caracterizan por estar fuertemente calcificadas ya que depositan carbonato de calcio alrededor de las paredes celulares (Poore *et al.*, 2016).

Morfológicamente, estas algas pueden ser geniculadas (con ramificaciones que consisten en segmentos no calcificados y calcificados alternados llamados genículos e intergenículos, respectivamente) o no geniculadas (sin segmentos no calcificados y calcificados alternados).

Los rodolitos son organismos de vida libre compuestos principalmente (>50%) de algas rojas coralinas no geniculadas. Un rodolito individual puede estar integrado por una o varias especies de algas coralinas, además de contener otros organismos incrustantes como briozoos, foraminíferos, gasterópodos, etc. (Foster, 2001). Pueden tener un núcleo de otro material (a veces llamados "rodolitos nucleados"; (Freiwald y Henrich, 1994)), lo que indica que pueden crecer a partir de fragmentos o del asentamiento de esporas en un sustrato duro (Foster, 2001).

Se caracterizan por tener un crecimiento lento (aproximadamente entre 0,015 y 2,5 mm al año (Adey y McKibbin, 1970; Frantz *et al.*, 2000; Blake y Maggs, 2003; Bosence y Wilson, 2003) y poseer larga vida (pueden vivir un tiempo superior a 100 años), siendo resistentes a diversas perturbaciones ambientales (Bosence, 1984). Su crecimiento, distribución y supervivencia están regulados por muchos factores (Wilson *et al.*, 2004).

Estructural y morfológicamente las algas coralinas no geniculadas son un grupo muy diverso el cual está conformado por los órdenes Sporolithales (género *Sporolithon* y *Heydrichia*) y Corallinales (*Lithophyllum*, *Neogoniolithon*, *Synarthrophyton*, *Lithoporella*, *Spongites*, *Hydrolithon*, *Phymatolithon*, *Neogoniolithon*, *Lithothamnion* y *Mesophyllum*) (Johansen *et al.*, 1981; Irvine y Chamberlain, 1994; Harvey y Woelkerling, 2007) (figura 1). Desde hace más de un siglo los sistemas de clasificación se basaron en características morfológicas y anatómicas; sin embargo, a partir del uso de la información molecular, el sistema de clasificación ha sido modificado (Ruiz-Robinson, 2013).

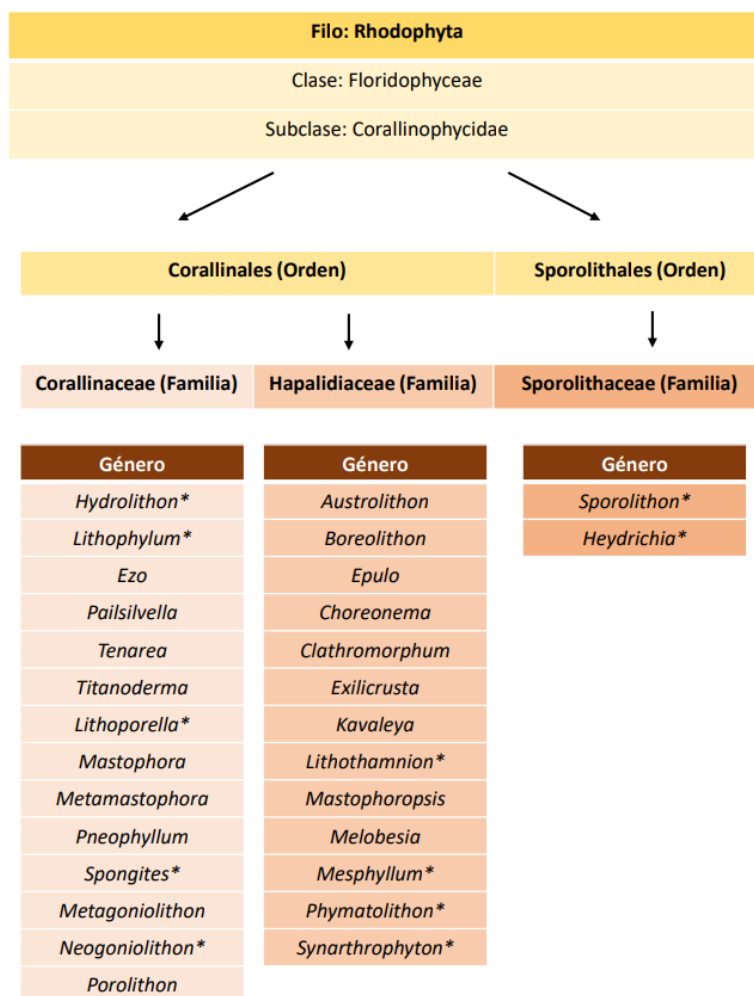
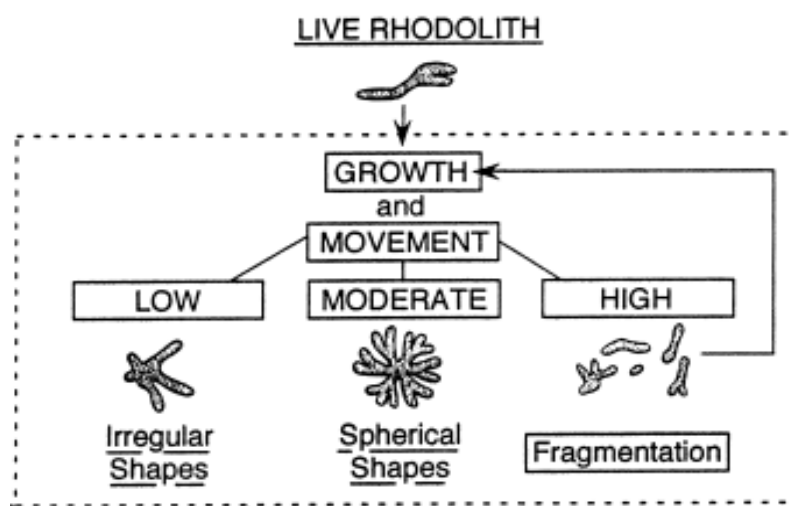


Figura 1: Clasificación actual de las algas coralinas no geniculadas (Bittner et al., 2011). \* géneros de algas coralinas no geniculadas que incluyen especies formadoras de rodolitos, adaptado de Robinson (2018).

Se mueven por el movimiento del agua, pueden ser enterrados por los sedimentos e incluso blanqueados cuando existe un ambiente estresante para ellos. Esto sin duda afecta a su forma (figura 2), patrones de ramificación, densidad y la función de las ramas (si éstas se ramifican) (Foster, 2001).



*Figura 2: Un modelo para la estructura y dinámica de los rodolitos. La morfología puede variar con la luz, los nutrientes, la temperatura, el movimiento y las especies. Se pueden romper fragmentos durante el movimiento del agua, bioturbación, pastoreo y arrastre. Estos procesos también producen arena y partículas calcáreas más pequeñas. Fuente: (Foster, 2001).*

En el Golfo de California, Steller y Foster (1995) demostraron que la morfología del rodolito está relacionada con un gradiente de profundidad. Bosellini y Ginsburg (1971), establecieron cinco tipos de morfologías de rodolitos que se pueden encontrar a lo largo de un gradiente hidrodinámico: los rodolitos esferoidales y elipsoidales serían característicos de los entornos de energía moderada a alta. En estas condiciones, el movimiento del agua promueve un frecuente vuelco de los rodolitos, y las algas coralinas crecen en todas las direcciones posibles. Por su parte los rodolitos planos, discoidales y ameboides serían más frecuentes en aguas tranquilas, ya que se requiere cierta estabilidad para producir este tipo de morfología.

En muchas ocasiones, el enterramiento de los rodolitos por un aporte masivo de sedimentos, ya sea por la pesca de arrastre, por dragados o por un alto aporte causada por la dinámica del medio, da lugar a la muerte de estos organismos debido a la falta de luz (Kamenos *et al.*, 2003).

El movimiento de rodolitos no tiene por qué ser frecuente, ya que pueden permanecer estáticos hasta varios meses debido a la presencia de células vivas en toda la superficie. Por otro lado, el movimiento de las olas, las corrientes y la bioturbación pueden girar y mover periódicamente estos organismos (Scoffin *et al.*, 1985). Sin embargo, Marrack (1999) demostró que la bioturbación es mucho más relevante para el movimiento de los rodolitos que las propias corrientes.

La distribución mundial de los lechos de rodolitos es sumamente discontinua (figura 3) (Foster, 2001); éstos suelen vivir en zonas relativamente planas o ligeramente inclinadas donde las algas no adheridas pueden permanecer y crecer durante largos períodos de tiempo (Steller *et al.*, 2009). Se desarrollan en zonas poco profundas con movimientos de agua entre bajo e intermedio, lo que hace que la relación entre la morfología costera y la energía hidráulica sea un factor determinante para la distribución generalizada de los rodolitos (Tompkins, 2011). Aun así, se sabe muy poco sobre la composición de especies de los lechos a escala ecológica o geográfica (Yabur-Pacheco y Riosmena-Rodríguez, 2007).

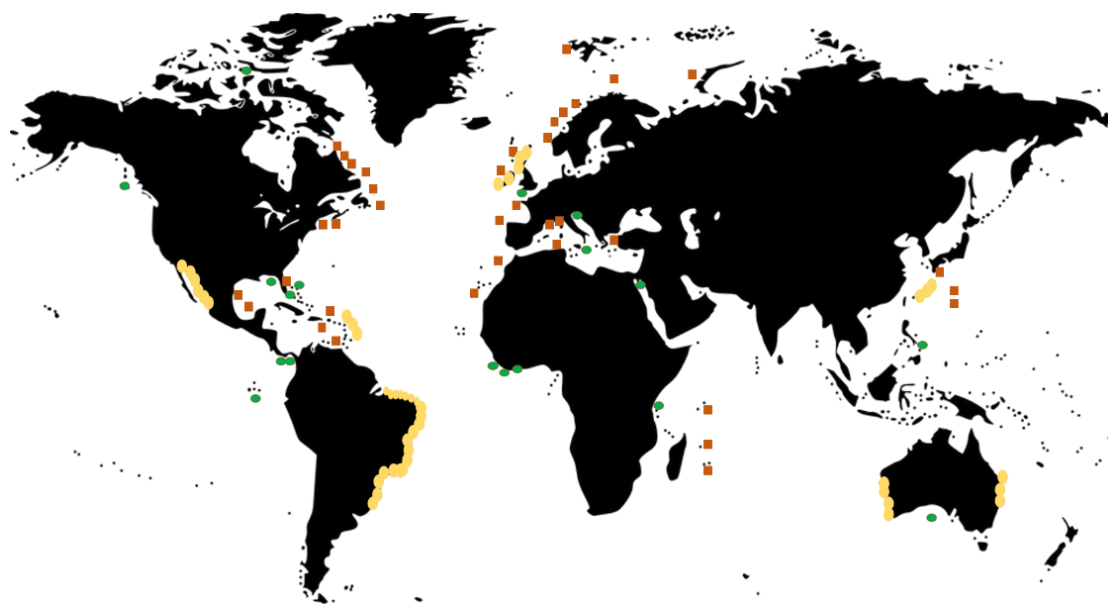


Figura 3: Distribución mundial de los mantos de rodolitos. Los cuadros indican una distribución en manto Bosence (1983), los círculos indican la ubicación de los lechos individuales y las bandas amarillas indican las grandes extensiones. Modificado de Foster (2001).

Las proporciones en que estas especies están presentes varían tanto espacial como temporalmente (Birkett *et al.*, 1998), aunque no se ha hecho ninguna evaluación específica en relación con las condiciones ambientales. En muchas zonas la composición de las especies de los lechos está comprometida debido al deficiente estado taxonómico de las especies involucradas. Foster *et al.* (1997) describieron que los lechos se organizan en dos ambientes vinculados con la profundidad y el movimiento del agua; y que, además, éstos se distribuyen en dos tipos de sustratos: fondos arenosos y fondos rocoso-arenosos.

La temperatura puede afectar a la distribución de determinadas especies, pero no controla la distribución de los rodolitos en general (Foster, 2001). Por tanto, los rodolitos pueden encontrarse en una amplia gama de regímenes de temperatura, que va desde los trópicos hasta los polos, con variaciones en la asociación de especies según la temperatura (Wilson *et al.*, 2004).

La salinidad también ha sido estudiada como posible factor de distribución de estos organismos (Connor *et al.*, 2003; Wilson *et al.*; 2004, Bosence, 1984) pero la distribución sí que parece estar relacionada, al menos en parte, con la cantidad de luz disponible y la mecánica de fluidos en su ambiente circundante. Las mayores agregaciones suelen encontrarse en sitios con suficiente luz y con un movimiento del agua tal que evite la sedimentación (Steller y Foster, 1995). Esto sí puede influenciar en que su distribución geográfica y vertical sea tan amplia (Steneck, 1986).

Los rodolitos, en condiciones favorables, como las anteriormente descritas, forman amplios mantos en el fondo del mar como se observa en la figura 4. Los autores se han referido a estas acumulaciones de diversas maneras como lechos, pavimentos, maërls, bancos, gravas de algas, montículos, biostromas o facies de rodolitos (Nebelsick *et al.*, 2005; Basso, 2012).



Figura 4: Extensión de rodolitos en el fondo del mar. Fuente: Fundación CRAM (2014).

Estos sustratos vivientes sostienen comunidades diversas de organismos sobre, debajo y entre sus complejos talos (Riosmena-Rodríguez *et al.*, 2007) y, además, están considerados como 'modificadores de hábitat' o 'bioingenieros' que, en virtud de su naturaleza ramificada y entrelazada, proporcionan hábitats relativamente estables y tridimensionales (Bruno, 2001). En este sentido, sus restos coralinos pueden aportar importantes cantidades de sedimento marino, así como de depósitos de fósiles (Riosmena-Rodríguez *et al.*, 2007).

Los estudios realizados por Riosmena-Rodríguez (2001), al igual que otros muchos sobre biodiversidad, determinaron que existe una alta riqueza y abundancia de organismos asociados, principalmente macroalgas, invertebrados y peces. Los mantos de rodolitos constituyen un hábitat alternativo para especies tanto de hábitats rocosos como arenosos y, en numerosas ocasiones, se lleva a cabo el reclutamiento y desarrollo de especies, debido a que constituyen refugio y alimento para las etapas de vida juveniles de muchas especies de importancia ecológica y comercial (Kamenos *et al.*, 2004).

Los rodolitos son resistentes a una gran variedad de perturbaciones ambientales, pero pueden verse gravemente afectados por la pesca, la acidificación oceánica o el calentamiento global. El valor de los rodolitos como un biotopo único en todo el mundo está amenazado por diferentes tipos de actividades humanas (Potin *et al.*, 1990). A pesar de la importancia de los mantos de rodolitos en el medio marino, una limitación importante para la protección es la falta de una

definición clara de ecosistema y las especies que lo componen (Riosmena-Rodríguez *et al.*, 2017).

A nivel mundial los depósitos de rodolitos han sido ampliamente explotados para varios usos como modificación de fondos y explotación de especies de importancia comercial asociadas a estos (Steller *et al.*, 2003). Sin embargo, su lenta tasa de crecimiento combinada con los efectos negativos causados por los sedimentos sobre ellos, los hacen particularmente vulnerables a estos impactos (Potin *et al.*, 1990). Es por estas características por lo que se desarrolló BIOMAËRL (1999), que fue un proyecto dedicado a comprender el valor de los lechos de rodolitos en las aguas europeas (Atlántico y Mediterráneo).

La combinación del interés en el desarrollo de la conservación de los rodolitos en otros países, la disminución de los depósitos de estos en el Atlántico y la correlación de la presencia de rodolitos en los depósitos de petróleo o cerca de ellos ha motivado al estudio de estos organismos en otras zonas del mundo (Riosmena-Rodríguez, 2017). A partir del proyecto BIOMAËRL (1999) y otros estudios posteriores, el maërl (término genérico para referirse a la comunidad de mantos de rodolitos (Lemoine, 1911)) ha sido incluido como comunidad amenazada y protegida en hábitats costeros de Nueva Zelanda, Europa (Consejo Directivo 92/43/ECC., 1992) protegidos en Anexo V; (Birkett *et al.*, 1998, BIOMAERL, 1999), Australia y México (Hall-Spencer *et al.*, 2010).

El presente estudio se localiza en Costa Rica, país centroamericano que posee costas tanto en el Océano Pacífico como en el Mar Caribe y gran cantidad de ríos que descienden de las zonas montañosas en ambas vertientes. Tanto las condiciones costeras como las oceanográficas en el Pacífico y en el Caribe son muy diferentes (FAO, 2004).

Las condiciones oceanográficas en el Pacífico Oriental Tropical son altamente dinámicas en una escala anual. Por lo general, el campo de viento es dominado por los vientos alisios del sur lo que limita el desarrollo de surgencia oceánica (Kessler, 2006). En esta zona se encuentran salinidades bajas en los meses de octubre a diciembre, con los valores más bajos en noviembre, inferiores a 24 ‰. Las salinidades máximas se hallan en marzo y abril siendo mayores de 34 ‰ a lo largo de las costas (Bennett, 1966).

La temperatura promedio superficial del Pacífico que baña Costa Rica es de  $29,7 \pm 1,3^{\circ}\text{C}$ , con una máxima de  $33^{\circ}\text{C}$  en febrero aproximadamente y una mínima de  $26^{\circ}\text{C}$  en septiembre (Alvarado y Aguilar, 2009).

La costa del Caribe es corta, bastante recta, con una extensión de 212 kilómetros y con una plataforma continental sumamente angosta. Presenta un clima de carácter tropical, con valores altos de radiación total incidente y altas temperaturas de sus aguas superficiales ( $>27^{\circ}\text{C}$ ) durante la mayor parte del año (Ruiz Ochoa, 2011).

El país presenta una superficie marina de  $568.054\text{km}^2$  total en la que se han identificado aproximadamente 6.700 especies marinas (3,5% de las especies marinas reportadas a nivel global) (FAO, 2004). A pesar de esta riqueza de ambientes marinos, el país presenta un rezago en la conservación y manejo de la biodiversidad marina y costera, con respecto al esfuerzo realizado hacia la parte terrestre (Alvarado *et al.*, 2011).

En este contexto, aun siendo las especies formadoras de rodolitos un componente esencial en las zonas costeras, estas no han sido incluidas en las políticas de conservación de Costa Rica; esto se debe principalmente, como afirma Robinson (2018) a la falta de evaluaciones modernas en términos de biodiversidad de especies, junto con la problemática asociada a la identificación taxonómica y que, molecularmente estas especies no han sido caracterizadas en la región del Pacífico Este.

A partir de esta necesidad, el presente estudio se centra en la descripción de los ambientes de desarrollo de los rodolitos y el estudio de la distribución de estos en el Pacífico y el Caribe de Costa Rica para generar recomendaciones para su posible protección, asegurándose así la posible conservación de los ambientes que soporta este ecosistema.

## OBJETIVOS

Estudiar las características de los ambientes en los que se desarrollan los rodolitos y su distribución en el Pacífico y Caribe de Costa Rica, para generar recomendaciones preliminares para su conservación.

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Realizar una base de datos exclusiva de los rodolitos en Costa Rica
  - a. Colecta de especies
  - b. Revisión de muestras ya colectadas: especímenes de herbario y de proyectos pasados para la realización de una nueva base de datos.
2. Describir los ambientes de crecimiento de los rodolitos
  - a. Factores que influyen en la distribución de estos (tipo de sustrato y profundidad)
3. Elaborar mapas de distribución actual de los rodolitos en Costa Rica mediante Sistemas de Información Geográfica.
4. Generar recomendaciones preliminares basándose en los objetivos anteriores para su posible conservación



## MATERIAL Y MÉTODOS

### 1. Realización de una base de datos exclusiva de los rodolitos en Costa Rica

#### a. Colecta de especies

Se dispuso de especímenes recolectados entre el 2003 y 2017. Las muestras fueron recogidas tanto en las costas de Pacífico como del Caribe a nivel submareal por medio de buceo y a nivel intermareal donde las algas fueron removidas del sustrato y extraídas manualmente o por medio de una draga. Posteriormente, fueron colocadas en bolsas de plástico debidamente identificadas.

Parámetros como la profundidad, tipo del sustrato, así como la ubicación específica de la muestra dentro del hábitat fueron tomados en el momento del muestreo.

Una parte de los especímenes colectados fueron colocados en bolsas plásticas con 20-30 g de cristales de sílica-gel para su posterior análisis molecular.

#### b. Revisión de muestras ya colectadas: especímenes de herbario y de proyectos.

Para la realización de una base de datos exclusiva de rodolitos se realizó una búsqueda de muestras en dos localizaciones diferentes:

Se revisaron muestras de rodolitos de la colección de la Universidad presentes en el Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología (CIMAR) de la Universidad de Costa Rica (UCR), buscándolas y clasificándolas a partir de la base de datos realizada y facilitada por Cindy Fernández García, subdirectora del Centro e investigadora en botánica marina. En este centro se encuentran todas las algas colectadas en proyectos realizados a lo largo de su carrera.

En esta base de datos se cuenta con información de profundidad, de tipo de sustrato, de latitud y de longitud, así como la fecha de recolección y el investigador por el cual las muestras fueron extraídas. En algunos casos, la información acerca de la especie que componía el rodolito estaba presente, pero al ser pocas muestras, se descartó utilizar este dato como parte del estudio.

De esta base de datos se extrajeron aquellas muestras señaladas como rodolitos de Costa Rica, la mayoría de ellas marcadas con código CFCR-... y UCR-... con su número correspondiente de muestra, realizando así una base de datos única para las muestras de rodolitos recolectados en Costa Rica.

Las muestras revisadas en el CIMAR fueron encontradas tanto en seco como en formol, e incluso algunas se encontraron en sílica-gel. En contadas ocasiones, se localizaron en el Centro de Investigación muestras que no se hallaban identificadas numéricamente, por lo tanto, se tuvieron que descartar como muestras fiables para la realización de este estudio.

Además, se revisaron las muestras presentes en la base de datos herbario de la Universidad de Costa Rica, el cual es el segundo herbario más grande del país, después del perteneciente al Museo Nacional.

En esta base de datos se encontraban todos los ejemplares que conforman este herbario, y es por ello por lo que fue necesaria la realización de dos filtros para encontrar las muestras deseadas: primero, en la columna 'Filo' se filtró como Rhodophyta y, segundo, de las obtenidas, se filtraron por los órdenes Corallinales y Sporolithales.

Gracias a ambos filtros, se pasó de tener un total de 2730 muestras a un total de 90. Tras esto, y ante la imposibilidad de acudir al herbario, mediante las fotografías de cada una de las muestras, se clasificaron aquellas que sí eran rodolitos y se marcaron en la casilla 'comentarios' de la base de datos.

Por último, ante la inexistencia de un apartado de longitud y latitud, se sacaron las coordenadas mediante Google Earth Pro de cada muestra debido a que sí que se disponía de la localidad y el punto exacto en la que cada una de ellas fue extraída.

Una vez realizado esto, las nuevas muestras se pasaron a la base de datos exclusiva de rodolitos con código USJ...- seguida del número de muestra correspondiente (perteneciente al código del herbario), donde ya estaban presentes las muestras del CIMAR, listas para su posterior análisis.

## **2. Descripción de los ambientes de crecimiento de los rodolitos**

### **Factores que influyen en la distribución de rodolitos**

De la base de datos nueva, se extrajeron datos tanto de profundidad como de tipo de sustrato. Se localizaron las muestras y se pasaron a una hoja nueva de Excel.

Para la hoja de profundidad se calculó la media de aquellas profundidades que se encontraban en un intervalo, es decir, aquella profundidad que estuviera entre 10-11 metros, por ejemplo, su media fue calculada en 10,5 metros y se realizó una nueva columna con estos datos, cuyo nombre fue "media de profundidad (m)". Estas profundidades fueron agrupadas en rangos de 3 en 3 metros para facilitar su análisis y para facilitar la posterior comprensión de los datos.

Tras esto, los datos fueron cargados en el paquete estadístico IBM® SPSS® Statistics versión 21 (SPSS Statistics, 2012) y de la columna 'media profundidad (m)' se realizó, a través de estadísticos descriptivos, un análisis de frecuencia, en el que se calculó la media, la mediana y la moda de las profundidades medias que presentaban las muestras, así como el porcentaje y la frecuencia de aparición de cada una de ellas.

Tras este análisis, los datos obtenidos fueron pasados a Excel para realizar un cambio de formato y poder obtener una gráfica correspondiente a esta variable.

Por otra parte, para la realización del análisis pertinente para cada sustrato se dividieron en cinco grupos diferentes: arenoso, mantos, rocoso/sobre roca, cascajo y fondo arenoso. Para que el Software informático pudiera realizar el análisis, las variables en forma de texto, es decir, cada tipo de sustrato, fueron transformadas a variables numéricas (tabla 1) que se establecieron de manera aleatoria, siendo:

*Tabla 1: Designación numérica para la identificación de cada tipo de sustrato.*

| <b>Tipo de sustrato</b> | <b>Nueva designación numérica</b> |
|-------------------------|-----------------------------------|
| Rocoso                  | 1                                 |
| Coralino                | 2                                 |
| Mantos                  | 3                                 |
| Arenoso                 | 4                                 |
| Cascajo                 | 5                                 |

Una vez realizado esto, se pasó a realizar el mismo tipo de análisis que a la profundidad, es decir, a través de estadísticos descriptivos, se realizó un análisis de frecuencia, en el que se calculó la media, la mediana y la moda de las profundidades medias de las muestras, así como el porcentaje y la frecuencia de aparición de cada tipo de sustrato.

Tras esto, los datos obtenidos fueron pasados a Excel para realizar un cambio de formato y sobre éstos se realizó la agrupación de las profundidades por metros, obteniendo profundidades ordenadas, a partir de la cual se obtuvieron las gráficas de esta variable.

Por último, mediante el Software estadístico R-Commander versión 3.2.2 (Fox, 2005) se realizó la prueba Chi cuadrado ( $\chi^2$ ), la cual permite determinar si existe una asociación entre dos variables categóricas. Con ella, se analizó la posible relación existente entre la frecuencia de aparición de las muestras y el tipo de sustrato y la frecuencia de aparición de las muestras y la profundidad de cada una de ellas. Es decir, con este análisis se pretende ver si estos organismos crecen mejor a una determinada profundidad o con un tipo de sustrato concreto.

Para la prueba de  $\chi^2$  contamos con un  $\alpha=0,05$ , cuyo valor hace referencia al nivel de confianza de los cálculos de la prueba; es decir, se obtendría un nivel de confianza del 95%. Esta prueba parte de la hipótesis nula o  $H_0$  la cual dice que los resultados son independientes, es decir, que no existe ninguna relación entre ambas. El objetivo de esta prueba es comprobar la hipótesis

mediante el nivel de significación, por lo que si el p-valor es mayor o igual que el  $\alpha=0,05$ , se acepta la hipótesis, pero si es menor se rechaza.

Para que la prueba no descartara ningún valor durante el análisis se agruparon los tipos de sustratos con una frecuencia menor o igual a 5 en un apartado denominado 'otros'. Se agruparon, por lo tanto, las categorías: coralino, mantos y cascajo.

Para ello, se escribió el siguiente comando en R que proporcionó unos resultados que serán expuestos a continuación:

Para el tipo de sustrato:

```
resul <- chisq.test(a<-c(53,10,21), p = c(1,1,1),correct=T,  
  rescale.p = T, simulate.p.value = T, B = 2000)
```

Para las profundidades:

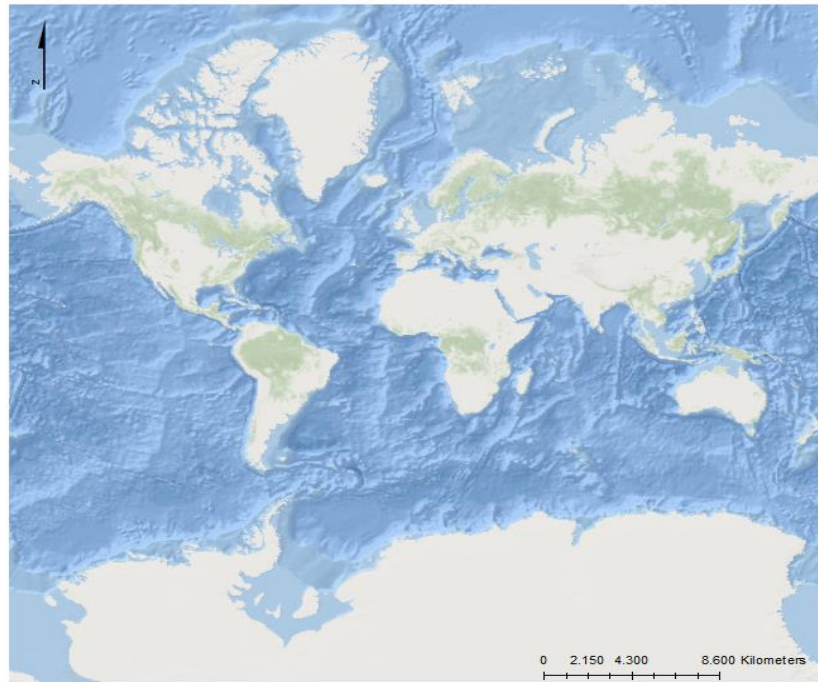
```
prof <- c(11,20,43,6,2,2)  
  
resul1 <- chisq.test(prof, p = rep(1/length(prof),  
  length(prof)),correct=T, rescale.p = T, simulate.p.value = T, B  
  = 2000)
```

### **3. Elaboración mapas de distribución actual de los rodolitos en Costa Rica mediante Sistemas de Información Geográfica.**

La elaboración de los mapas de distribución se llevó a cabo a partir del programa informático ArcMap versión 10.5 (ESRI,2016), el cual se encuentra dentro de un conjunto de productos de software en el campo de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), denominado ArcGIS. Es un completo sistema que permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica. Este paquete incluye las siguientes herramientas: ArcReader, ArcMap, ArcCatalog, ArcToolbox, ArcScene y ArcGlobe (ArcGIS, 2006). En este caso, para la realización de los mapas de distribución se utilizó ArcMap.

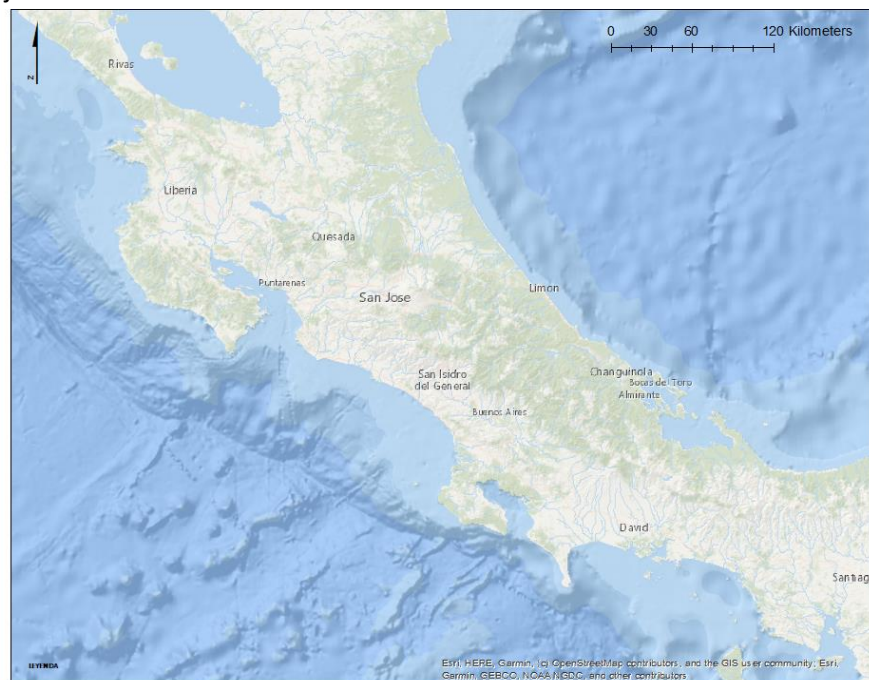
Para la cartografía se descargaron las siguientes capas de ArcGIS online (presentadas como nombre de la capa (autor, año)), a las cuales se les otorgó el sistema de coordenadas proyectadas WGS\_1984:

**Ocean/World\_Ocean\_BaseMap** (Esri, Garmin, GEBCO, NOAA NGDC, and other contributors, 2014), que proporciona un mapa base mundial (figura 5), con la batimetría del lecho marino sobre el que se trabajó.



*Figura 5: Mapa base con batimetría del fondo marino. Fuente: ArcMap.*

**Reference** (Esri, Garmin, GEBCO, NOAA NGDC, and other contributors, 2017). En esta capa se muestran los nombres de las diferentes provincias que componen el país de Costa Rica (figura 6) mediante letras. La capa tiene la capacidad de mostrar más o menos nombres importantes según se aleja o se acerca.



*Figura 6: Mapa batimétrico con etiquetas de provincias de Costa Rica. Fuente: ArcMap.*

Desde el punto de vista de la conservación estas capas disponen de la siguiente información:

**Áreas de Conservación SINAC** (ksalazar, Esri, Garmin, GEBCO, NOAA NGDC, and other contributors, 2019). El Sistema Nacional de Áreas de Conservación o SINAC, es una dependencia del Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), creado mediante el artículo 22 de la Ley de la Biodiversidad N° 7788, de 1998 (SINAC, 2009). El SINAC es visualizado como un sistema de gestión y coordinación institucional, con personalidad jurídica propia, en el que se integran las competencias en materia forestal, vida silvestre y áreas protegidas, con el fin de planificar y ejecutar procesos dirigidos a lograr la sostenibilidad en el manejo de los recursos naturales de Costa Rica (Sibaja, 2010), y la protección y conservación del uso de cuencas hidrográficas y sistemas hídricos con el fin de dictar políticas, planificar y ejecutar procesos dirigidos a lograr la sostenibilidad en el manejo de los recursos naturales del país (SINAC, 2009).

Territorialmente, el SINAC está dividido en once áreas de conservación reflejados en la tabla 2, donde se interrelacionan actividades tanto públicas como estatales y se buscan soluciones conjuntas, orientadas por estrategias de conservación y desarrollo sostenible de los recursos naturales (Castillo, 2013).

Tabla 2: Áreas de conservación con sus respectivos acrónimos.

| NOMBRE DEL ÁREA DE CONSERVACIÓN           | ACRÓNIMO |
|---|----------|
| Área de Conservación de Guanacaste        | ACG      |
| Área de Conservación Tempisque            | ACT      |
| Área de Conservación Central              | ACC      |
| Área de Conservación Arenal-Tempisque     | ACAT     |
| Área de Conservación La Amistad- Pacífico | ACLAP    |
| Área de Conservación Marina Cocos         | ACMC     |
| Área de Conservación La Amistad- Caribe   | ACLAC    |
| Área de Conservación de Osa               | ACOSA    |
| Área de Conservación Tortuguero           | ACTo     |
| Área de Conservación del Pacífico Central | ACOPAC   |
| Área de Conservación Arenal Huetar Norte  | ACAHN    |

A partir de esta capa, se diferenciaron cada una de las áreas de conservación por colores y se asignó a cada una de ellas, según la tabla 2, su nombre correspondiente. Se le otorgó visibilidad en la capa y, por lo tanto, también en el mapa mediante la función 'Label Features' y se



seleccionó el atributo AREA\_CONSERVACIÓN. Además, se dibujaron como capas nuevas la Isla del Caño y la Isla del Coco ya que no estaban representadas en la capa importada.

El mapa, por lo tanto, quedó dividido como se muestra en la figura 7:

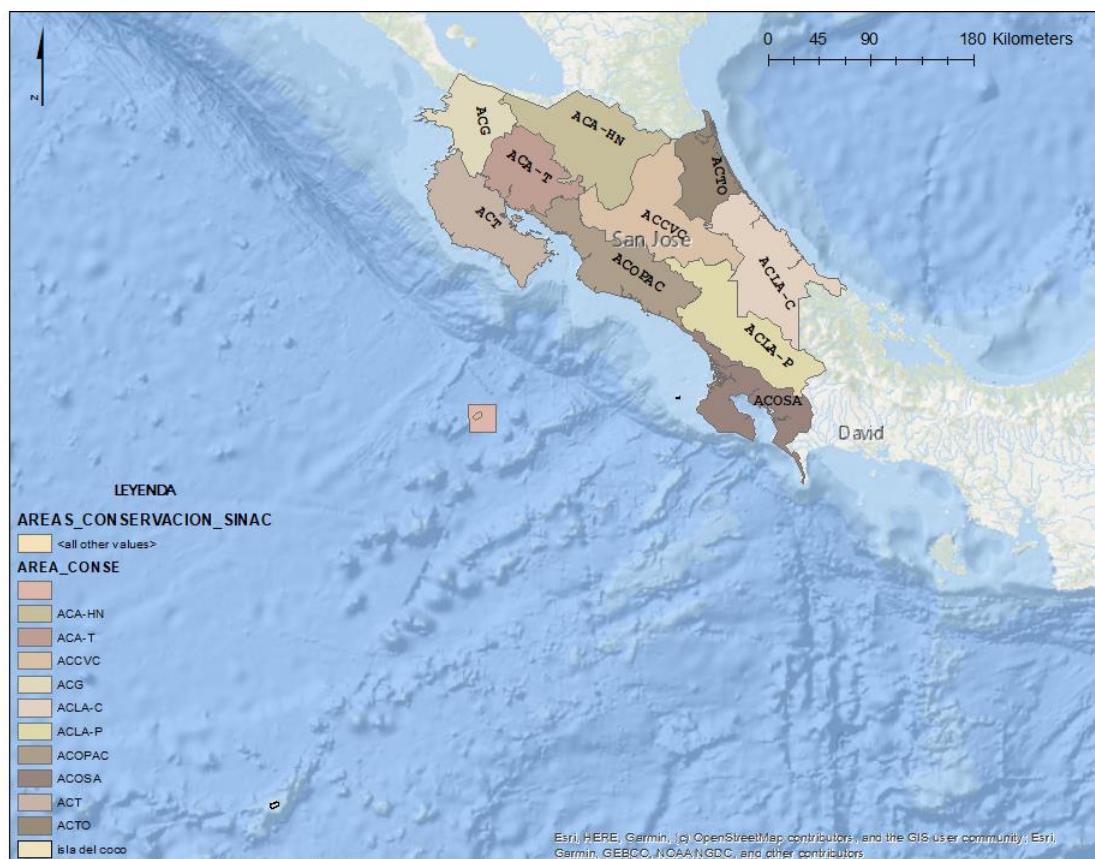


Figura 7: Mapa con las Áreas de Conservación que incluye el SINAC. Fuente: ArcMap.

**Áreas silvestres protegidas** (nmolina\_sinaccr, Esri, Garmin, GEBCO, NOAA NGDC, and other contributors, 2015) en esta capa se presentan todas las áreas protegidas del país incluyendo: Parques Nacionales, Humedales, Monumento Nacional, Refugio de Vida Silvestre, Zonas Protectoras, Reservas Forestales, Reservas Naturales Absolutas, y otras áreas; todas ellas con el mismo formato, es decir, todas se representan de la misma manera en la capa (figura 8).

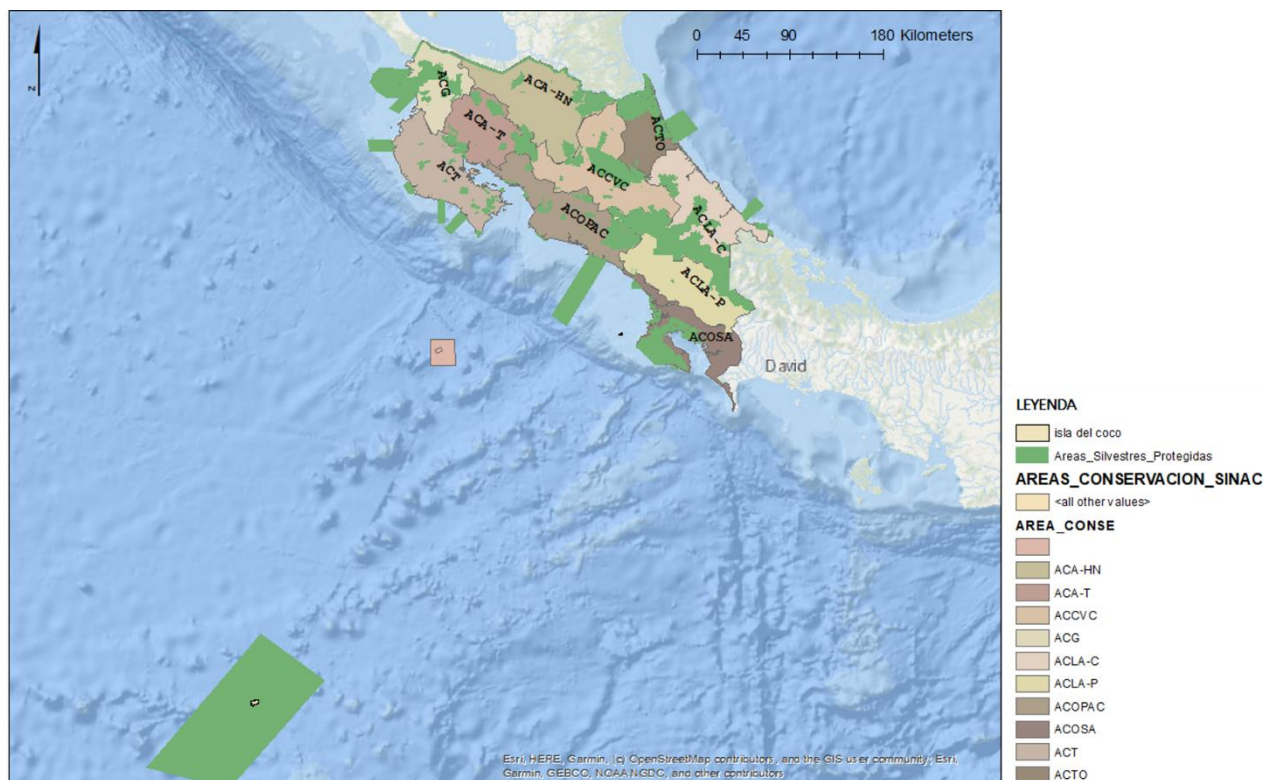


Figura 8: Mapa de las áreas de Conservación incluidas en el SINAC con todas las áreas silvestres protegidas. Fuente: ArcMap.

Es por ello por lo que se extrajeron, mediante la selección de atributos, aquellas zonas silvestres de interés que presentaban zonas protegidas en el ambiente marino, y se separaron como capas independientes, tras lo cual a cada una se le asignó un color/textura diferente para su diferenciación.

Los atributos extraídos de la capa principal fueron los expuestos en la tabla 3:

Tabla 3: Atributos extraídos de la capa: áreas silvestres protegidas.

| SIGLAS | DENOMINACIÓN COMPLETA                 |
|--------|---------------------------------------|
| PN     | Parques naturales                     |
| RVS    | Refugios Nacionales de Vida Silvestre |
| RB     | Reservas biológicas                   |
| RNA    | Reservas Naturales Absolutas          |

Además, se extrajo el Atributo de Montes Submarinos, el cual ocupa una gran zona de protección alrededor del parque Natural de la Isla del Coco.

Las nuevas capas creadas se situaron por debajo de la capa de las áreas de conservación para la visualización únicamente de las áreas protegidas en el medio marino, dando como resultado final lo mostrado en la figura 9:



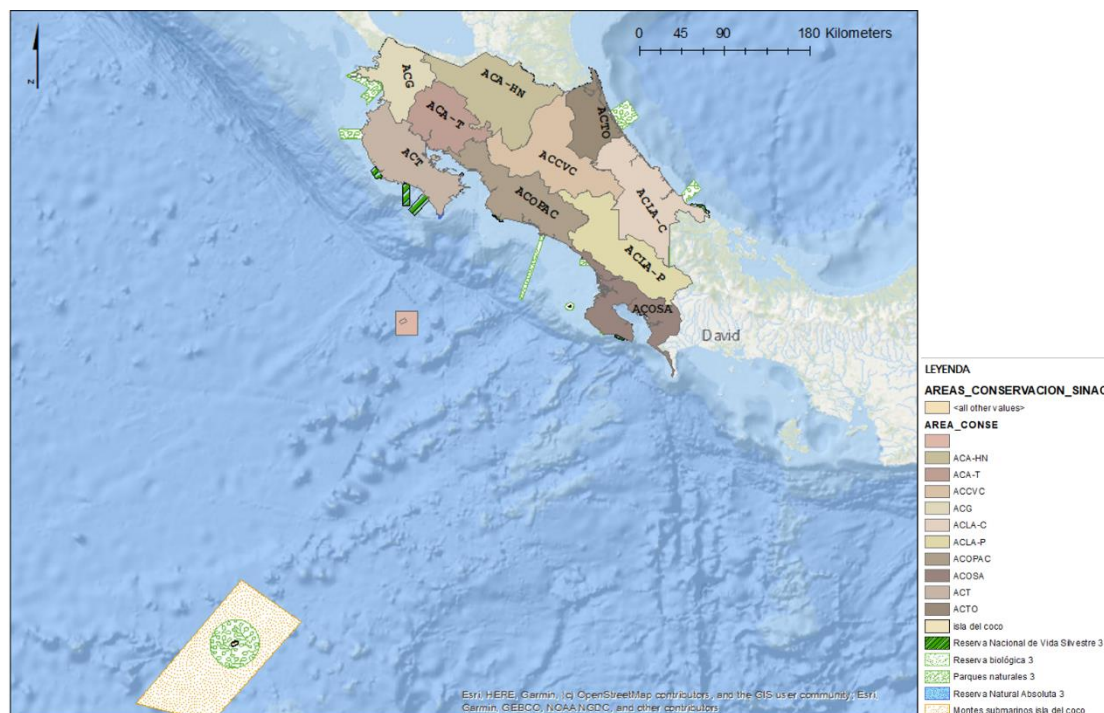


Figura 9: Mapa con las áreas de conservación incluidas en el SINAC y las áreas silvestres protegidas con importancia en el medio marino. Fuente: ArcMap.

Para la elaboración propia de una capa con las coordenadas presentes en la base de datos exclusiva de rodolitos se realizaron los siguientes pasos:

Se realizó un Excel con las coordenadas en grados, minutos y segundos de cada muestra junto a su identificación correspondiente (UCR-... o USJ-... con su correspondiente número), separadas como latitud y longitud, y se calcularon las respectivas coordenadas en sistema decimal, agregando estos datos en una nueva columna, al lado de la anterior, nombradas X; la columna con los datos correspondientes a latitud, e Y la columna correspondiente con los datos de longitud.

Posteriormente, el Excel se guardó en formato .CSV para que pudiese ser leído por el programa ArcMAP. Una vez añadidos los datos al mapa, se establecieron como puntos en X e Y las columnas correspondientes a cada tipo de coordenada y el programa calculó la ubicación de cada punto.

Además, se transformó cada coordenada (convertidas en polígonos), en círculos visibles en el mapa y se guardó como capa, dando como resultado un mapa completo que permitió el estudio de la distribución de los rodolitos en cada zona del país. Cabe destacar que aquellas muestras que presentaban coordenadas similares se representan en el mapa como un mismo punto, aunque en algunos casos, este punto puede llegar a albergar unas 30 muestras.

Cuando esto ocurre, quiere decir que la zona posee extensiones de estos organismos, por lo que, por último, se realizó una capa con las coordenadas de aquellas muestras que se encontraban sobre mantos de rodolitos, con objeto de mejorar la identificación en el mapa de estos ecosistemas. Se realizaron los mismos pasos que para la anterior capa.

#### **4. Propuesta de nuevas zonas de protección y recomendaciones de conservación y vigilancia.**

Para este punto se usaron dos pasos diferentes:

La primera parte se realizó de manera bibliográfica, a través de la consulta del libro “Rhodolith/Maërl Beds: A Global Perspective” editado por Rafael Riosmena-Rodríguez, Wendy Nelson y Julio Aguirre. El objetivo de este libro es la difusión de la información costera sobre la comunidad de Rodolitos. En él, además de tratarse temas oceanográficos relacionados con los organismos en cuestión, trata temas sobre la política y derecho costero (Riosmena-Rodríguez *et al.*, 2017). Este libro se encuentra dividido en tres partes diferentes:

- **Part I: “The Role of Rhodolith/Maërl Beds in Modern Oceans”**
- **Part II: “The Role of Rhodolith/Maërl Beds in Historical Oceans”**
- **Part III: “Conservation Status of Rhodolith/Maërl at Major Ocean Basins”**

Cada parte del libro integra diferentes artículos científicos ya publicados, por lo tanto, el libro es una revisión bibliográfica de la mayor parte de los estudios que se han realizado sobre los rodolitos en el mundo.

Existe una revisión de los últimos 30 años de todas las medidas de conservación de los rodolitos que encontramos en los diferentes océanos del mundo. Es por ello por lo que la información fue extraída del apartado III de dicho libro: “**Conservation Status of Rhodolith/Maërl at Major Ocean Basins**”, compuesto por 6 artículos científicos separados por océanos: Atlántico Norte, Atlántico Sur, Mediterráneo, Pacífico Este, Pacífico Oeste y Pacífico Sur.

En cada uno de estos artículos se consultó el apartado “*Conservation*” y de ellos se extrajeron aquellas leyes o medidas que los diferentes países han propuesto o aprobado para la conservación, y, por lo tanto, la protección de estos organismos para, posteriormente, poder realizar una lista con aquellas medidas que se podrían implantar en la zona de estudio del presente trabajo.

La segunda parte, se realizó a través de ArcMap. Se crearon zonas de protección o vigilancia para la conservación en aquellas áreas donde las muestras de rodolitos superaban los 5 ejemplares o donde se tenía constancia de la presencia de mantos.

Las capas fueron creadas desde cero, y los polígonos se dibujaron por criterio propio. Estas capas fueron finalmente un total de 5, enumeradas con sus respectivas etiquetas en el mapa.

## RESULTADOS

### 1. Realización de una base de datos exclusiva de los rodolitos en Costa Rica

La base de datos exclusiva de los rodolitos presentes en Costa Rica tuvo un total de 88 muestras tras la revisión de todas estas tanto en el Centro de Investigación como en el Herbario de la Universidad de Costa Rica (ver Anexo I).

Esta base de datos posee información de: filo, tipo de sustrato en el que se encontraron cada una de ellas, profundidad (tanto el intervalo de profundidad a la que se encontraron como la media de profundidad de este intervalo), la localidad y el país donde fueron encontradas y las coordenadas tanto en grados decimales como en grados, minutos y segundos.

En algunos casos, la base de datos muestra el género e incluso en algunas ocasiones, la especie formadora del rodolito, pero debido al bajo número de muestras que presentan este tipo de información, ésta no es utilizada para el análisis del presente estudio.

### 2. Descripción de los ambientes de crecimiento de los rodolitos

En cuanto a la descripción de los ambientes de crecimiento de estos organismos, tras el estudio estadístico de los datos, se obtuvieron los siguientes resultados:

En lo que se refiere al sustrato se puede observar, tal y como se muestra en la tabla 4, los resultados obtenidos de la media, la mediana y la moda de aparición de cada tipo de sustrato.

*Tabla 4: Resultados estadísticos extraídos de la media, mediana y moda de cada tipo de sustrato.*

| ESTADÍSTICOS     |        |
|------------------|--------|
| Tipo de sustrato |        |
| MEDIA            | 3,2381 |
| MEDIANA          | 4,00   |
| MODA             | 4,00   |

Como se ha indicado anteriormente en el apartado de material y métodos a cada tipo de sustrato se le asignó un valor numérico, por lo tanto, siguiendo con los datos expuestos en tabla 1 los resultados de este análisis muestran que el valor medio de los sustratos es 3,2 pero éste es descartado debido que, al haber realizado la designación numérica, no muestra un valor que tenga sentido en cuanto al análisis de los datos de este tipo de variable.

En cuanto a la mediana y la moda, da un valor de 4, es decir, que aquel valor que más se repite, y, por lo tanto, el mayoritario es un sustrato de tipo arenoso.

Por otra parte, para refutar los resultados anteriores, se calculó la frecuencia de aparición de las muestras (tabla 5) y también el porcentaje de aparición de cada uno de los diferentes tipos de sustratos.

*Tabla 5: Resultados estadísticos de frecuencia del tipo de sustrato.*

| TIPO DE SUSTRATO | FRECUENCIA | PORCENTAJE (%) | PORCENTAJE ACUMULADO |
|------------------|------------|----------------|----------------------|
| Rocoso           | 21         | 25             | 25                   |
| Coralino         | 1          | 1.2            | 26.2                 |
| Mantos           | 4          | 4.8            | 31                   |
| Arenoso          | 53         | 63.1           | 94                   |
| Cascajo          | 5          | 6              | 100                  |

Como resultado se obtuvo que los sustratos que presentan una mayor frecuencia de aparición son los sustratos de tipo arenoso, con una frecuencia de aparición de 53 muestras y un porcentaje de 63,1% sobre el total de estas. El sustrato rocoso, con una frecuencia de aparición de 25 muestras y un porcentaje de representación del 25%. Por otra parte, se destaca el bajo número de muestras encontradas en un sustrato de tipo coralino, siendo la frecuencia de 1 y un porcentaje de 1,2%.

Siguiendo la línea de las frecuencias de muestreo en cada sustrato y para una representación más visual, se representa en la figura 10 el porcentaje de muestras encontradas en cada uno de ellos:

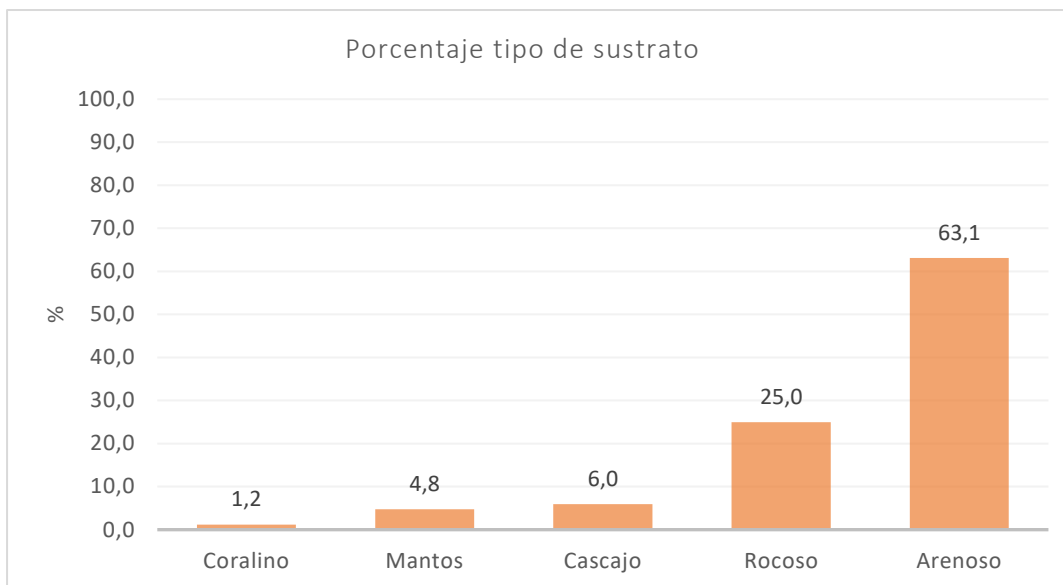


Figura 10: Porcentaje de aparición de las muestras en cada tipo de sustrato.

Como en los resultados anteriores, la figura 10 muestra un sustrato arenoso como el mayoritario, seguido del rocoso, cascajo, mantos de rodolitos y, por último, el sustrato de tipo coralino, con el porcentaje más bajo.

En cuanto a la profundidad, tal como se muestra en la tabla 6 se puede observar que los resultados obtenidos de la media, la mediana y la moda de cada tipo de profundidad media son los siguientes:

Tabla 6: Resultados estadísticos de la media, mediana y moda de las profundidades

| ESTADÍSTICOS               |        |
|----------------------------|--------|
| Media profundidad (metros) |        |
| MEDIA                      | 8,5327 |
| MEDIANA                    | 10     |
| MODA                       | 10     |
| MÁXIMO                     | 0,5    |
| MÍNIMO                     | 22     |

Con lo expuesto en la tabla 6, se observa que la media de profundidad a la que se encuentran los rodolitos del presente estudio es de 8,5 metros. Por otro lado, cabe destacar que la profundidad con mayor número de aparición, como indica la moda, es la de 10 metros. Y, por último, se observa un mínimo de 0,5 metros y un máximo de 22 metros de profundidad de aparición de rodolitos en este estudio.

Por otra parte, para refutar los resultados anteriores, se realizó un estudio de la frecuencia de aparición de cada muestra en cada profundidad y el porcentaje de cada profundidad, dando como resultado lo expuesto en la tabla 7:

Tabla 7: Resultados estadísticos de frecuencia de cada profundidad agrupada.

| Profundidades agrupadas (metros) | Frecuencia | Porcentaje válido (%) | Porcentaje acumulado (%) |
|----------------------------------|------------|-----------------------|--------------------------|
| [0-3[                            | 11         | 13,09                 | 13,1                     |
| ]4-7]                            | 20         | 24,0                  | 36,9                     |
| ]8-11]                           | 43         | 51,2                  | 88,1                     |
| ]12-15]                          | 6          | 7,2                   | 95,2                     |
| ]16-19]                          | 2          | 2,4                   | 97,6                     |
| ]20-23]                          | 2          | 2,4                   | 100,0                    |

Como se puede observar, los datos coinciden con los expuestos anteriormente en la tabla 6, es decir, el rango de profundidad de mayor frecuencia es el comprendido entre los 8 y los 11 metros, con una frecuencia de 43 muestras y un porcentaje del 51,2% de aparición. Seguido de éste, el rango que mayor frecuencia presenta es el de 4 a 7 metros, con un total de 20 muestras y un porcentaje del 24%. Cabe destacar por otra parte que las profundidades menos frecuentes son las comprendidas entre los 16 a los 23 metros.

Siguiendo la línea de las frecuencias de muestreo en cada profundidad y para una representación más visual, se representa en la figura 11 el porcentaje de muestras encontradas en cada una de ellas:

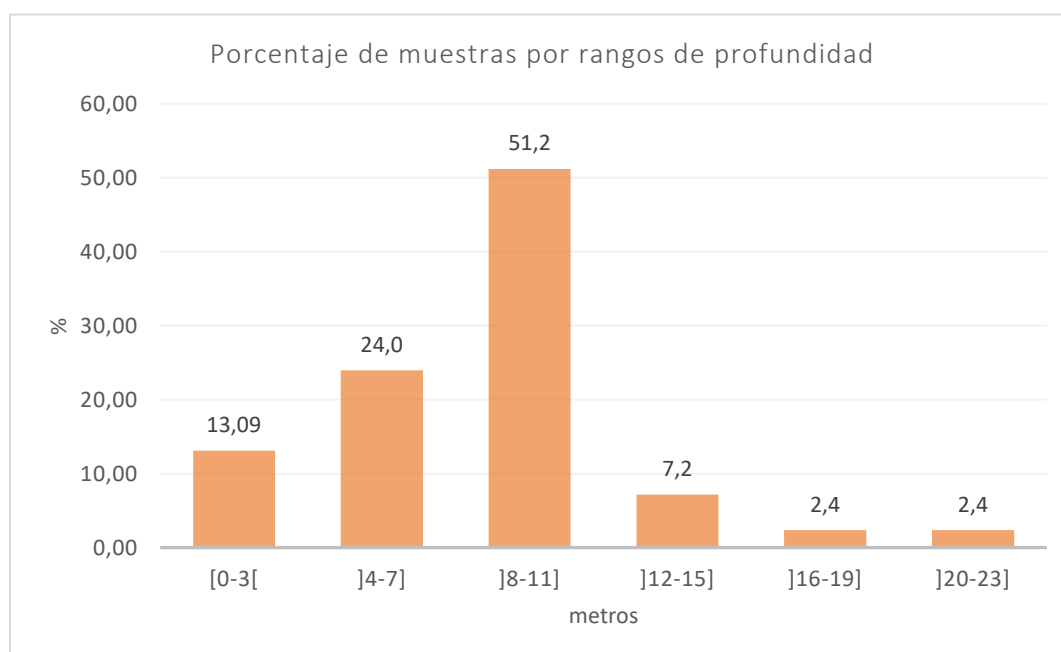


Figura 11: Porcentaje de aparición de las muestras en cada profundidad agrupada.

Con los resultados expuestos en la figura 11, se puede observar que la profundidad que presenta un mayor porcentaje es la de 10 metros, seguido de los 4 metros con un resultado muy similar al que se presenta a 1 metro de profundidad, siendo respectivamente de 10,8% y de 9,5%. A partir de los 10 metros se observa un porcentaje decreciente de la aparición de muestras, siendo homogéneo a partir de los 15 metros.

Por último, se exponen los resultados obtenidos de la prueba Chi<sup>2</sup>:

Para el sustrato se obtiene el siguiente resultado:

Chi-squared test for given probabilities with simulated p-value  
(based on 2000 replicates)

```
data: a <- c(53, 10, 21)
```

```
X-squared = 111.95, df = NA, p-value = 0.0004998
```

Se observa un p-valor de 0,0004998, por lo tanto,  $\alpha < 0,05$  y al ser este valor mucho menor que  $\alpha$ , puede descartarse con mucha seguridad la hipótesis nula que asegura que las variables son independientes, lo que garantiza que sí que existe una relación entre ellas. En los datos obtenidos, se ve una clara abundancia de muestras en el sustrato de tipo arenoso, por ello se supone los rodolitos poseen un crecimiento óptimo en este tipo de sustratos.

Los resultados del análisis de las profundidades son los siguientes:

Chi-squared test for given probabilities with simulated p-value  
(based on 2000 replicates)

```
data: prof
```

```
X-squared = 236.36, df = NA, p-value = 0.0004792
```

Se observa un p-valor de 0,0004792, por lo tanto,  $\alpha < 0,05$ , y al ser este valor mucho menor que  $\alpha$ , puede también descartarse la hipótesis nula, que asegura que las variables son independientes. En los datos obtenidos, se ve una clara abundancia de muestras en el rango de profundidad de 8 a 11 metros y, por ello, se supone que los rodolitos poseen un crecimiento mayor en este rango de profundidad.

### **3. Mapas de distribución actual de los rodolitos en costa rica mediante Sistemas de Información Geográfica.**

Tras la superposición de todas las capas obtenidas y elaboradas en este estudio, el resultado general del mapa de distribución de rodolitos en el Pacífico y en el Caribe de Costa Rica fue el mostrado en la figura 12:



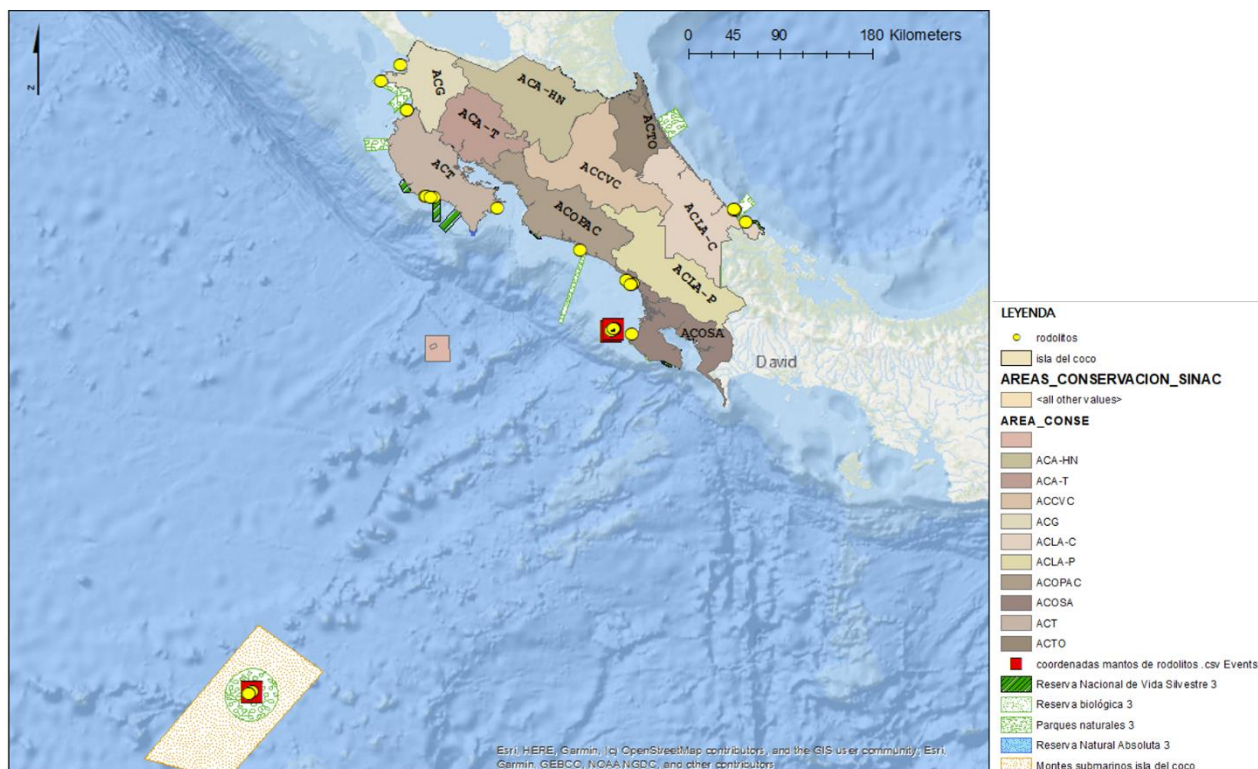


Figura 12: Distribución general de los rodolitos en Costa Rica.

De una manera más específica, se analizan los resultados según las diferentes áreas de conservación que presenta el país:

Empezando por el Pacífico, más concretamente, por el Área de Conservación de Guanacaste o ACG se obtienen los resultados que se muestran en la figura 13:

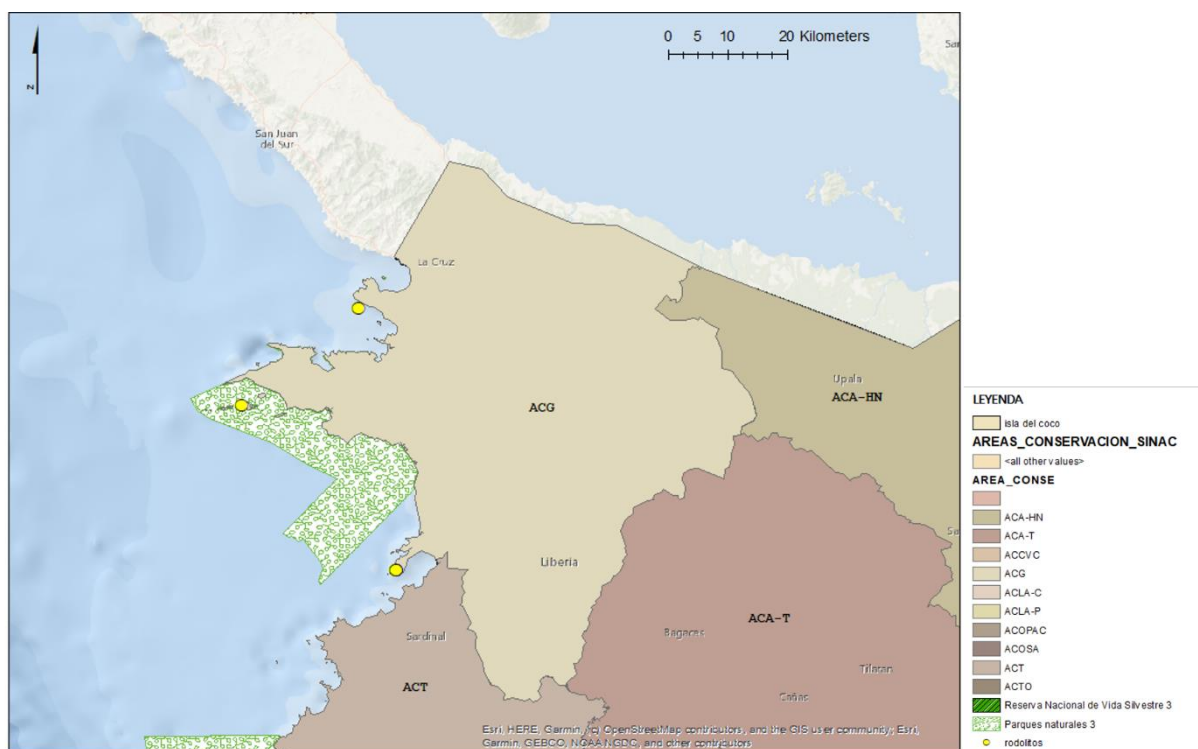


Figura 13: Localización de las muestras de rodolitos en el Área de Conservación de Guanacaste (ACG).

En esta zona llama la atención la muestra central de mapa ya que se encuentra en el interior de un área protegida. Concretamente está dentro del Parque Nacional de Santa Rosa y la muestra está ubicada exactamente en la Isla San José.

Respecto a las otras muestras, se encuentran en el Golfo de Santa Elena (al norte) y en Bahía Culebra al sur, con un total de 4 muestras.

Siguiendo en el Pacífico, hacia el sur, aparece el Área de Conservación de Tempisque o ACT, en la que se encuentran las muestras que se destacan en la figura 14:

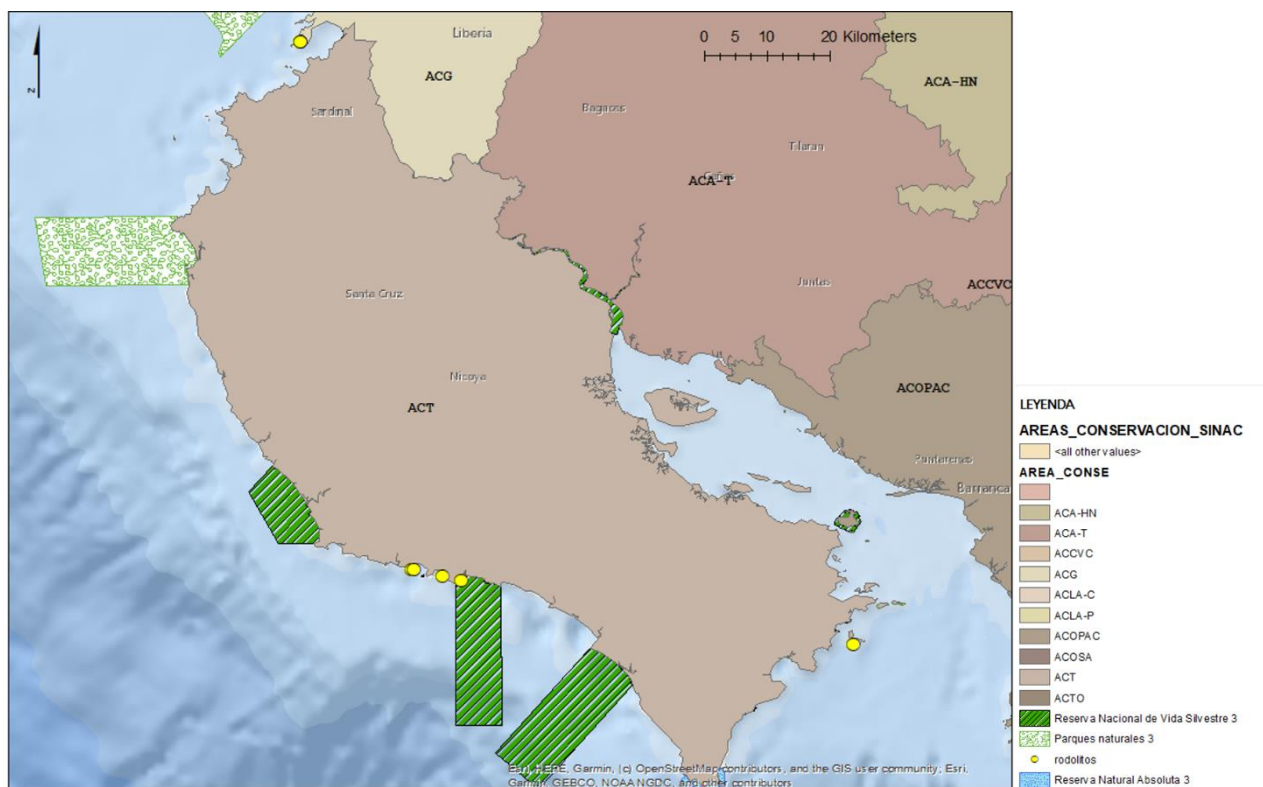


Figura 14: Localización de las muestras de rodolitos en el Área de Conservación de Tempisque (ACT).

En el Área de Conservación de Tempisque, se refleja una cantidad mayor de muestras que la anterior, siendo esta de un total de 5. Se muestra una de ellas en el sur de la provincia en Isla Tortuga, y las demás cerca de Sámara; éstas se ven mejor reflejadas en la figura 15.



La siguiente provincia a estudio es el Área de Conservación del Pacífico Central o ACOPAC y en ella se observaron los resultados mostrados en la figura 16.



Figura 16: Localización de las muestras de rodolitos en el Área de Conservación del Pacífico Central (ACOPAC).

En esta área de Conservación existe un número muy bajo de muestras, solamente existe una muestra identificada, situada en Quepos, muy próximo al Parque Natural Manuel Antonio.

El Área de Conservación de Osa o ACOSA, es la situada más al sur de todas, y en ella se observan un total de 9 muestras de rodolitos, como se observa en la figura 17.



Figura 17: Localización de las muestras de rodolitos en el Área de Conservación de Osa (ACOSA).

Se puede observar como las muestras se sitúan en su mayoría al norte de esta área, separadas en dos ubicaciones diferentes según se indica en las figuras 18 y 19.



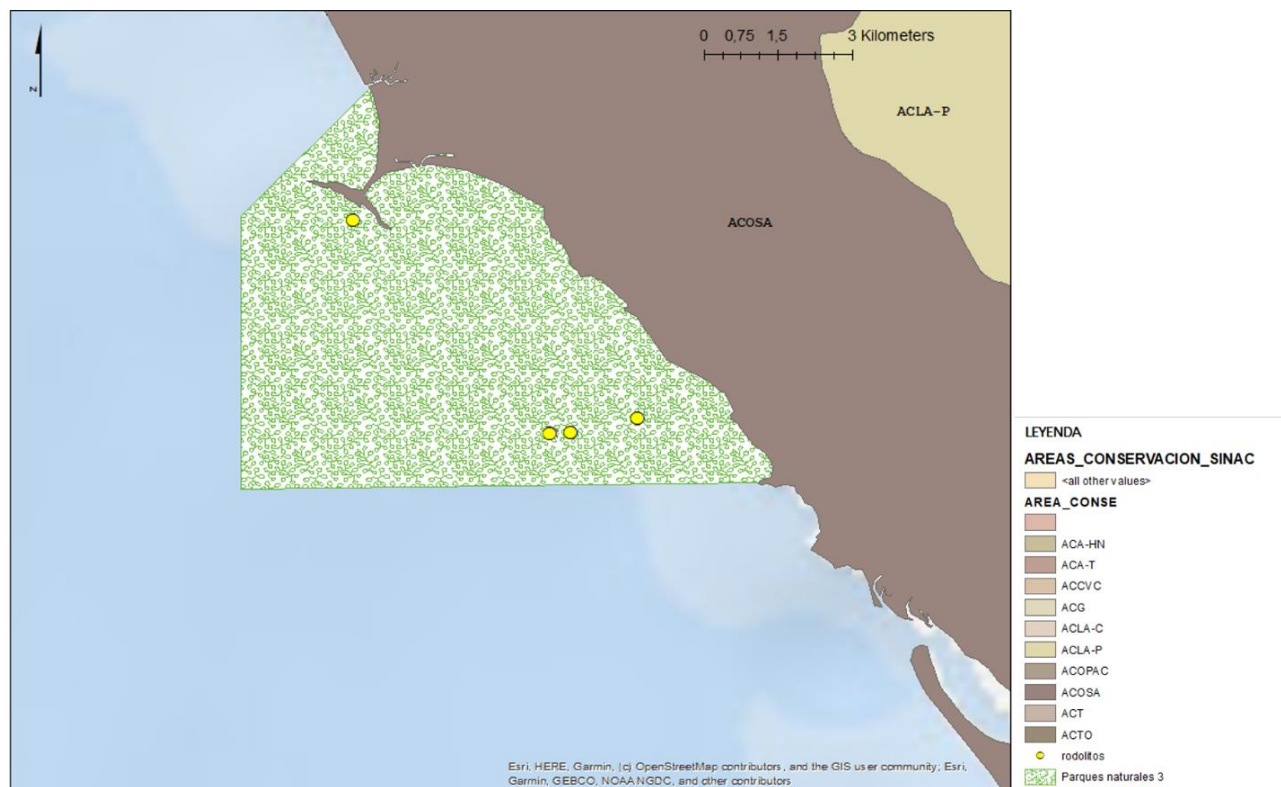


Figura 18: Localización de las muestras en el Área de Conservación de Osa (ACOSA).

Como se muestra en la figura 18, las muestras situadas más al norte de esta provincia están situadas en Uvita, dentro del Parque Nacional Marino Ballena, y, por lo tanto, en una zona protegida.

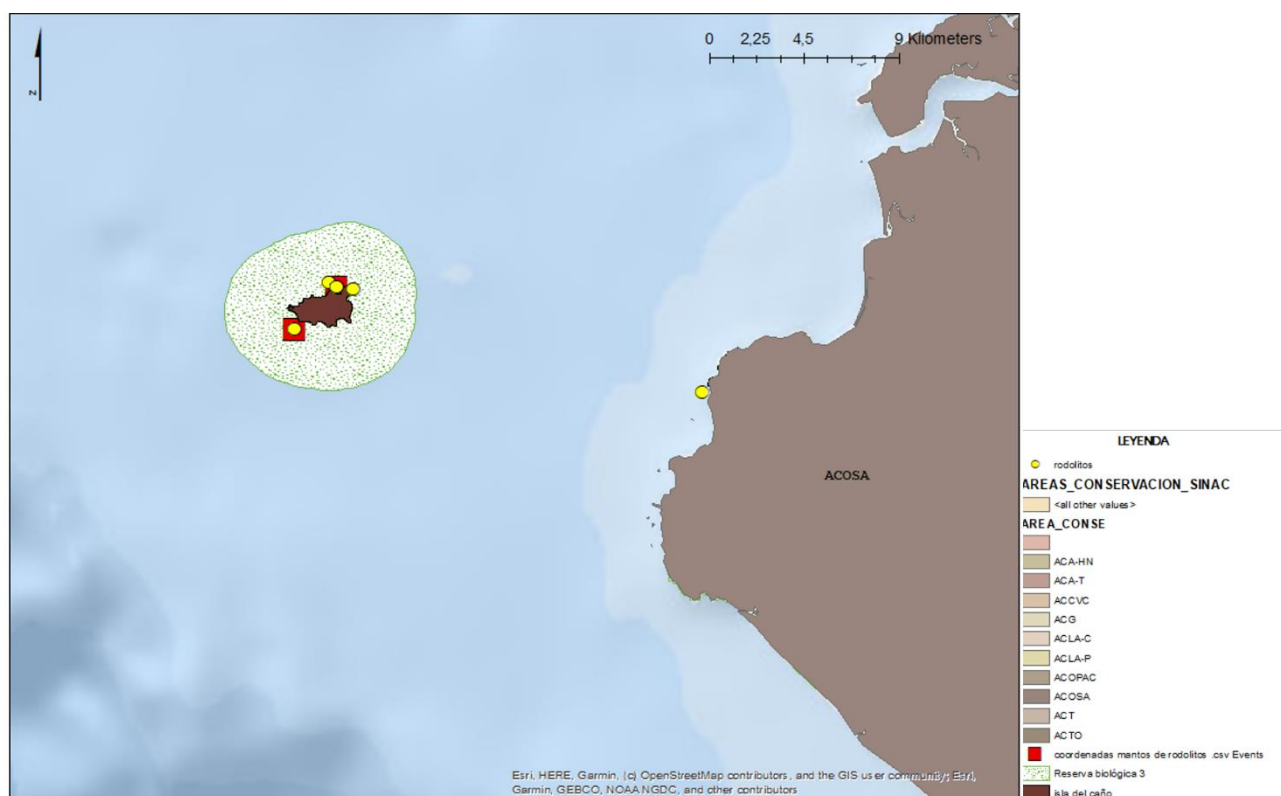


Figura 19: Localización de las muestras en el Área de conservación de Osa (ACOSA).

La mayor parte de las muestras que se indican en la figura 19, esta situadas en la Isla del Caño, dentro de la Reserva Biológica de la Isla del Caño, con un total de 45 muestras en esta Isla con formación de mantos de rodolitos. Por otro lado, observamos una muestra localizada en San Josecito.

Para terminar con la revisión de las muestras en el Pacífico, pasamos al Área de Conservación Marina de Cocos o ACMC, situada en la isla del Coco, que presenta un total de 5 muestras, tal y como se muestra en la figura 20.

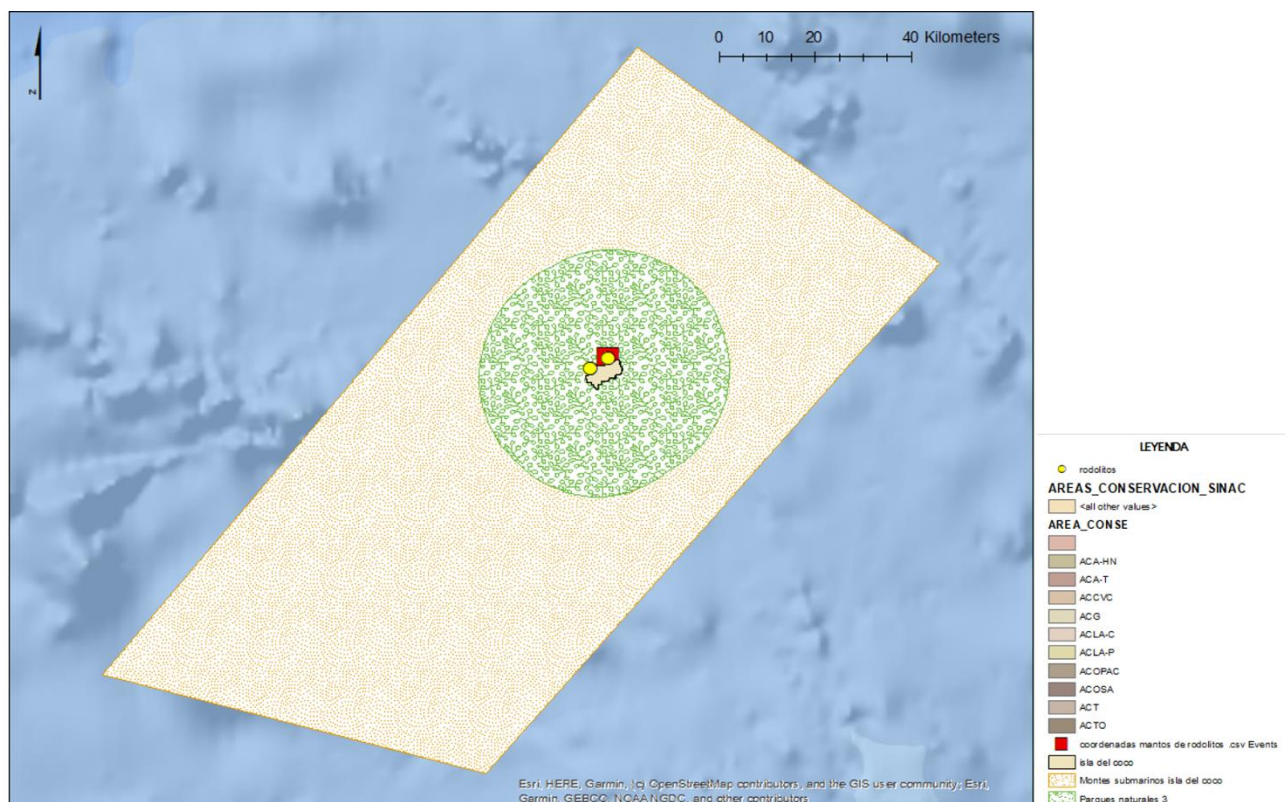


Figura 20: Localización de las muestras de rodolitos en el Área de Conservación Marina de Cocos (ACMC).

En cuanto al Caribe, solo se observa una provincia que presente muestras, el Área de Conservación La Amistad- Caribe o ACLAC. Aparecen un total de 7 muestras, tal y como se observa en la figura 21.

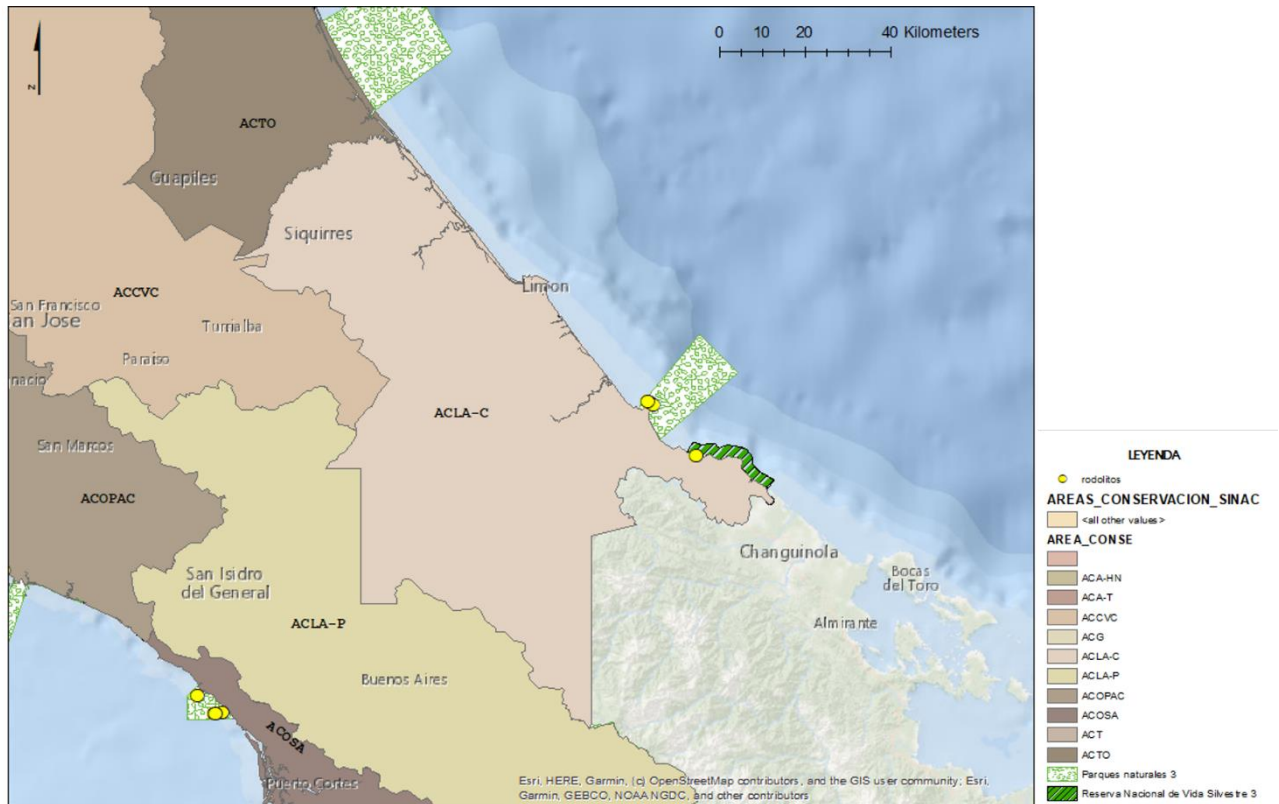


Figura 21: Localización de las muestras en el Área de Conservación de La Amistad-Caribe (ACLAC).

Cabe destacar de esta zona que las muestras se localizan en áreas protegidas tanto en el Parque Natural de Cahuita (figura 22), al norte de la figura 21 y con un total de 5 muestras, como en el Refugio Nacional Gandoca Manzanillo, al sur de la misma figura y con la presencia de 2 muestras.

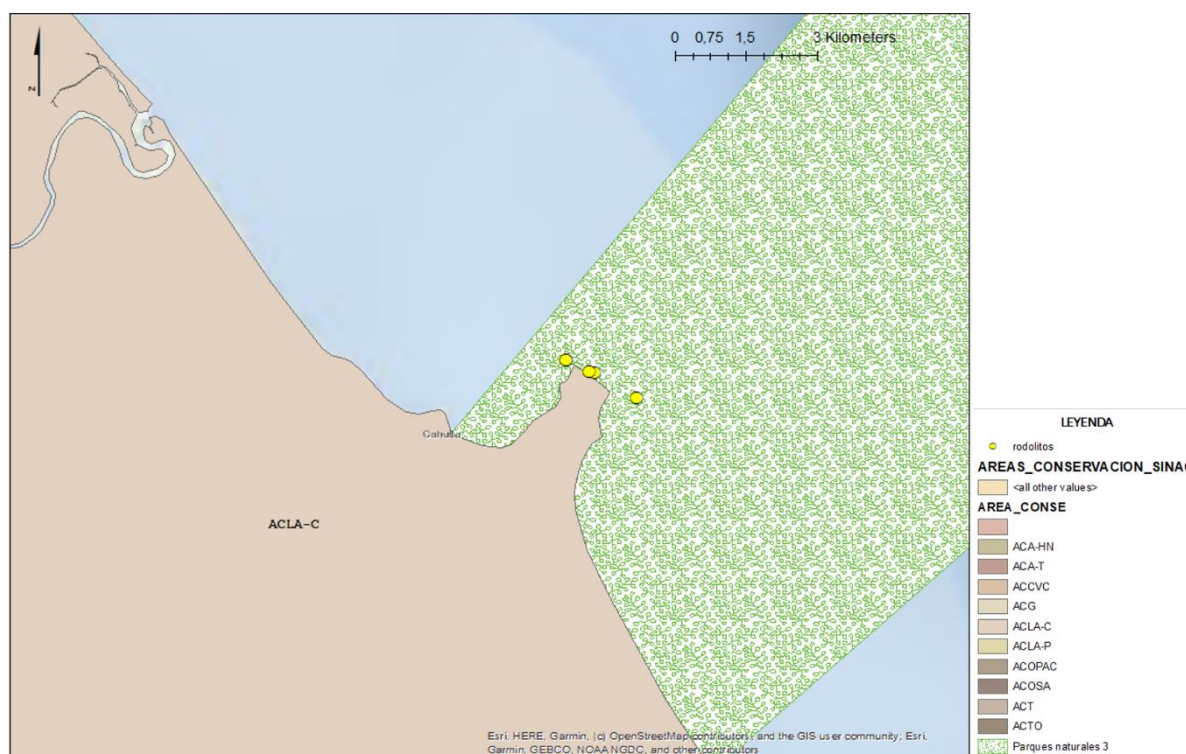


Figura 22: Localización de las muestras en el Área de Conservación de La Amistad-Caribe (ACLAC).

#### 4. Zonas de protección o vigilancia de rodolitos y propuesta de recomendaciones de conservación.

Los resultados obtenidos de la búsqueda bibliográfica de la protección existente de los rodolitos en los diferentes océanos del mundo fueron los siguientes:

En el Atlántico norte, La Directiva de Hábitats de la UE (92/43/CEE) incluye el maërl y enumera la *Lithothamnion corallioides* y el *Phymatolithon calcareum* como especies protegidas, ya que en estos lugares son las especies más abundantes formadoras de rodolitos; estos ambientes están incluidos también en las listas de hábitats amenazados por las diversas actividades antropogénicas (OSPAR, 2006). Estas medidas hacen que en algunos países el 28% de los lechos de maërl se encuentren dentro de áreas protegidas (Peña y Bárbara 2006).

Dentro del Atlántico, pero en la zona sur, encontramos medidas menos exigentes, ya que los lechos se encuentran en zonas donde la plataforma continental es muy extensa y existen numerosos pozos de extracción de petróleo. En estas zonas la única medida que existe es la establecida por el IBAMA (Instituto Brasileño de Medio Ambiente), que implantó la prohibición de descargar lodo o grava sobre los lechos de rodolitos (Riosmena-Rodríguez *et al.*, 2017).



En el mar Mediterráneo, en el marco de la legislación europea, existen dos herramientas principales: la Directiva de Hábitats y Especies 92/43/CEE, comentada anteriormente, y el Reglamento del Consejo de la CE 1967/2006 CE, relativo a las medidas de gestión para la explotación sostenible de los recursos de pesca en el Mediterráneo, que establece la prohibición de los artes de pesca (es decir redes de arrastre, redes de jábega, dragas) en los lechos de coralígeno o maërl. Por otro lado, en el mar Mediterráneo los lechos de rodolitos son objeto de un plan especial de protección en el marco del Plan de Acción para el Mediterráneo del Programa de las Naciones Unidas (United Nations Environment Programme, 2008), que tiene como objetivo reunir acciones coordinadas para asegurar la protección especial a través de las áreas marinas protegidas, basándose en iniciativas para mejorar el conocimiento científico (como inventarios taxonómicos adecuados, mapas de distribución geográfica, actividades de vigilancia, etc.) (Salomidi *et al.*, 2012).

Por último, el océano Pacífico es el que menor tasa de estudios acerca de la protección de los rodolitos presenta, a pesar de ser el océano más amplio, ya que pocas zonas marinas protegidas han considerado las especies formadoras de rodolitos como hábitats pertinentes para la conservación. En algunas zonas como Australia y México se consideran como hábitats especiales de protección, pero no presentan ninguna medida para su conservación.

Tras esta revisión bibliográfica, las medidas preliminares que se proponen para la posible protección y conservación de los rodolitos en Costa Rica son los siguientes:

- Incluir los lechos de rodolitos en las listas de hábitats amenazados por su fragilidad ante las actividades antropogénicas en Costa Rica.
- Proteger las especies más abundantes formadoras de rodolitos en estas zonas.
- Prohibir actividades pesqueras cuyas artes de pesca remuevan el sustrato en aquellas zonas en las que se encuentren rodolitos.
- Estudiar más en profundidad la taxonomía y biología de estos organismos para realizar inventarios y poder ampliar el conocimiento científico sobre los rodolitos.
- En zonas ya protegidas, ampliar la vigilancia sobre este tipo de ecosistemas y prestar más atención a su posible degradación.
- En zonas donde existen rodolitos cerca de zonas ya protegidas, ampliar dichas zonas de protección para poder abarcar estos organismos y que puedan gozar de un ambiente libre de perturbaciones.

Las áreas nuevas de vigilancia o protección que propone el presente estudio se han realizado a partir del siguiente criterio: las zonas se localizaron donde las muestras superaban o eran iguales

a un total de 5 organismos (estuvieran ya protegidas o no) y en aquellas zonas donde se tenía constancia de mantos de rodolitos (estuvieran ya protegidos o no). Son las siguientes:

**Área 1:** La primera zona propuesta se localiza al oeste de Costa Rica, en aguas del Pacífico, y en concreto, en el Área de Conservación de Tempisque situada en la región de Sámara, como indica la figura 23.

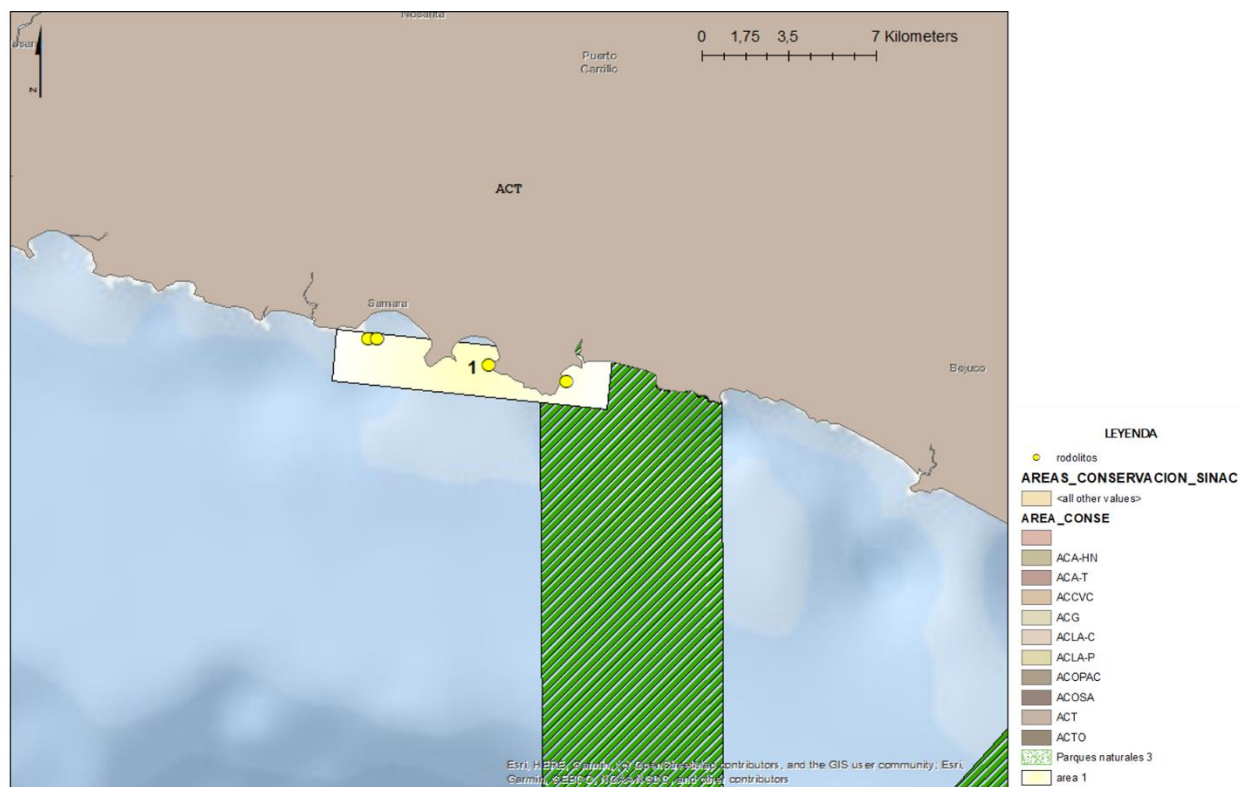


Figura 23: Área 1 de protección o vigilancia de rodolitos propuesta para Costa Rica.

**Área 2:** La segunda área que se propone se sitúa en la Isla del Caño y pertenece al Área de Conservación de Osa. Esta zona se encuentra ya protegida por un Parque Natural que rodea la isla, y en ella se constata la presencia de mantos de rodolitos; es por ello por lo que se propone esta zona (figura 24) para la protección, vigilancia o seguimiento de los rodolitos presentes.

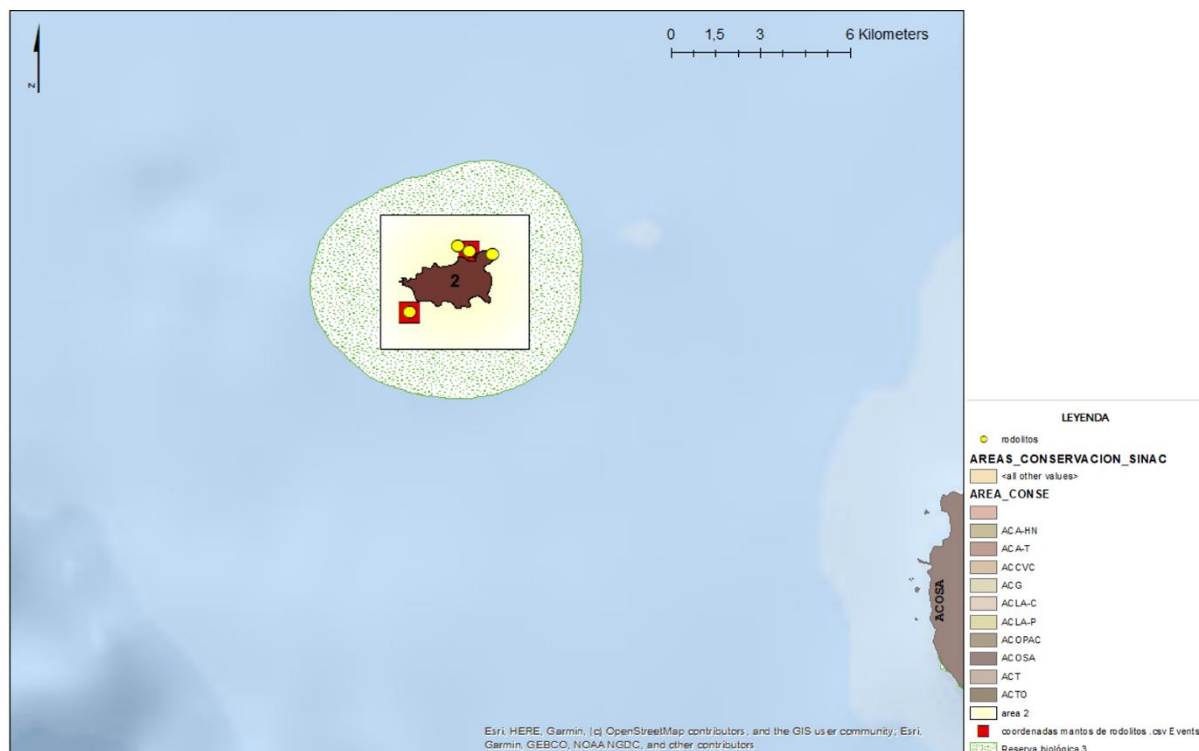


Figura 24: Área 2 de protección o vigilancia de rodolitos propuesta para Costa Rica.

**Área 3** La tercera área de protección o vigilancia propuesta por este estudio se localiza en el Parque Nacional Marino Ballena, situado también en el Área de Conservación de Osa, al oeste de Costa Rica. También está dentro de un parque nacional y por ello se propone esta zona (figura 25) para la vigilancia de los rodolitos registrados.

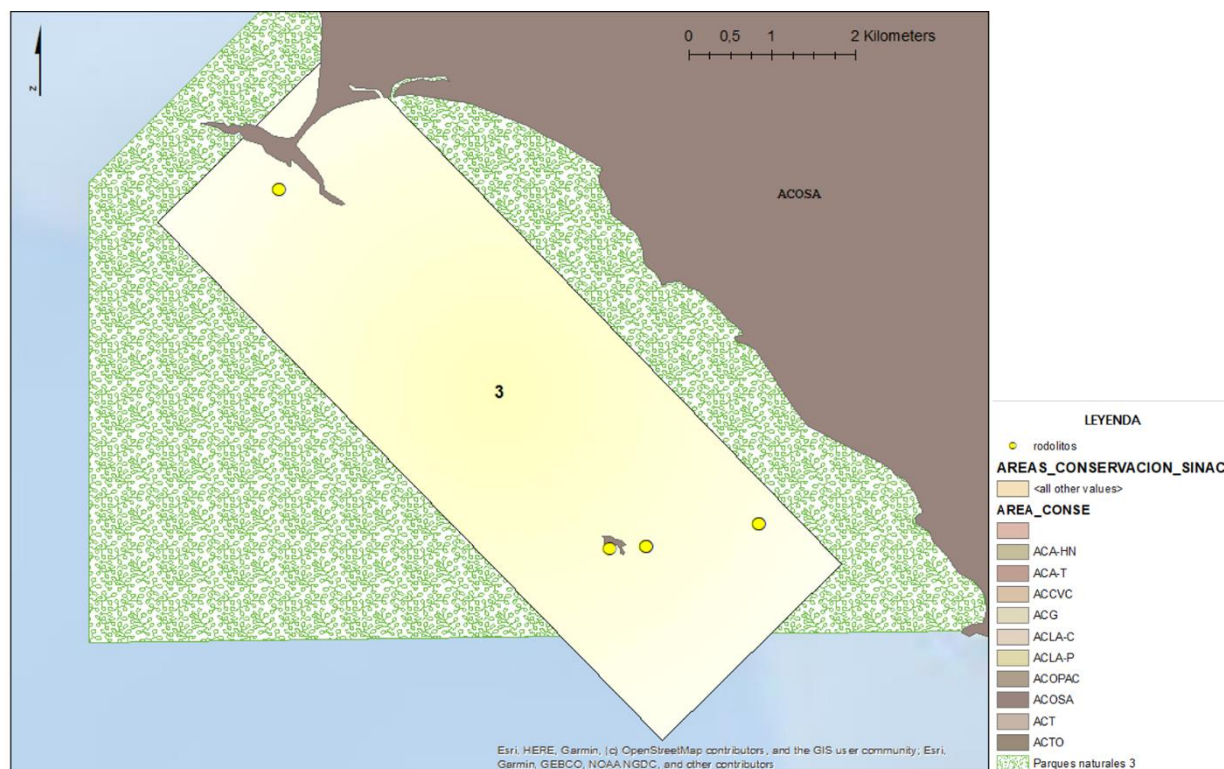


Figura 25: Área 3 de protección o vigilancia de rodolitos propuesta para Costa Rica.

**Área 4:** La cuarta área se sitúa en el Caribe que baña Costa Rica, concretamente en el Área de Conservación La Amistad- Caribe, situada al suroeste del país. Se localiza dentro de un parque natural y, por ello, el área de protección o vigilancia que se propone es el que se muestra en la figura 26.



Figura 26: Área 4 de protección o vigilancia de rodolitos propuesta para Costa Rica.

**Área 5:** Por último, existe una zona en el Pacífico que pertenece a la Isla del Coco, en la que se identifican rodolitos en perfecto estado. Esta característica es debida a la gran protección que presenta la zona y, aunque la zona ya goza de una gran protección y vigilancia, se propone esta zona ya que la protección recae en otros organismos. Por lo tanto, la zona de protección o vigilancia que se propone para la Isla del Coco es la mostrada en la figura 27.





Figura 27: Área 5 de protección o vigilancia de rodolitos propuesta para Costa Rica.

## DISCUSIÓN

Una de las limitaciones con la que se ha encontrado el presente estudio es que solamente ha podido contar con muestras clasificadas que fueron recolectadas a lo largo de más de una década, por lo que los ambientes han podido ser transformados o han podido cambiar a lo largo del tiempo. Se considera, por otro lado, que el tamaño muestral obtenido de toda la recolección, es decir, 84 muestras, es pequeño y que, por lo tanto, para realizar un estudio con mayor fiabilidad habría que aumentar el número de muestras.

El presente estudio es uno de los pocos que proporciona una descripción de las características de los ambientes de crecimiento (tipo de sustrato y profundidad) que favorecen el desarrollo de los rodolitos en Costa Rica.

Los resultados han mostrado que estos organismos abundan en su mayoría en sustratos de tipo arenoso ya que el total de muestras encontradas en este ambiente fueron de 53 y el porcentaje de aparición con respecto al total de las muestras fue de un 63,1%. Según esto, y tras la realización de la prueba  $\chi^2$ , se demuestra que los rodolitos tienen una preferencia clara por este tipo de sustrato, es por ello por lo que se puede afirmar que un sustrato de tipo arenoso favorece el crecimiento de estas algas. Estudios similares indican que el sustrato de tipo arenoso podría favorecer la reproducción de estos organismos, así como la expansión de los mantos que forman y, como asegura Birkett (1998), esto podría ayudar a la producción de sedimento biogénico que llega a ser muy relevante en algunos procesos sedimentarios costeros. Además, este tipo de sedimentos suele estar presente en pendientes suaves donde, según Foster y Riosmena-Rodríguez (1997), es más frecuente encontrar los rodolitos.

Por otra parte, los rodolitos han sido encontrados en un rango de profundidad de 1 a 22 metros en el área de estudio, siendo la profundidad preferida por estos organismos la comprendida entre los 8 y los 11 metros. A estas profundidades se encontró un total de 43 muestras y el 51,2% del total de los especímenes estudiados. La prueba  $\chi^2$ , confirmó que estos organismos tienen preferencia por profundidades de 10 metros. Otros estudios corroboran estos resultados, como los de Bosence (1984), Littler (1991), Foster (1997) y Marrack (1999), entre otros, en los que se afirman que los rodolitos suelen encontrarse en su mayoría en un rango de profundidades que va de 1 a 25 metros, considerándolos suelos poco profundos.

A día de hoy, existen pocos estudios que hayan tratado sobre los ambientes de desarrollo de los rodolitos, es por ello por lo que estos resultados son difícilmente discutibles; sin embargo, aunque muchos de los rodolitos se encuentren a profundidades moderadas como las descritas en este estudio, algunos autores como Adey y MacIntyre (1973), Bosence (1983), Frantz (2000),

Foster (2001) y Poore (2016) consideran que la profundidad no es un factor relevante en el crecimiento de estos organismos ya que se pueden encontrar a profundidades de hasta los 268 metros, sino que su crecimiento está directamente relacionado con la cantidad de luz disponible en el medio.

En cuanto a la distribución de los rodolitos en el área de estudio, se han encontrado dos zonas bien diferenciadas: la zona del Caribe y la zona del Pacífico. Gracias a la realización de los mapas se ha podido observar que la mayor parte de estos organismos se encuentran en la zona oeste del país, es decir, en las costas del Pacífico. Esta distribución podría ser controlada por las siguientes causas:

(1) La mayor cantidad de zonas protegidas en el ambiente marino en la costa oeste del país podría ser un factor determinante para su óptima distribución y crecimiento; (2) las condiciones oceanográficas del Pacífico (corrientes, temperatura, salinidad, cantidad de luz, etc.) serían mejores para el crecimiento de los rodolitos respecto a las del Caribe; por último, (3) la desembocadura de numerosos ríos en la parte norte de la costa del Caribe podría proporcionar gran cantidad de sedimentos y materia en suspensión que imposibilitara el crecimiento de los rodolitos por falta de luz en esta zona.

Muchos autores defienden que las condiciones idóneas de crecimiento de los rodolitos se da en aquellas zonas donde existe una cantidad suficiente de luz y una temperatura óptima (Kamenos *et al.*, 2003). Es por ello por lo que los rodolitos se encuentran mejor distribuidos y con mayor abundancia en las costas del Pacífico; sin embargo, existen otras opiniones como la de Marrack (1999) que afirma que no existen suficientes estudios ni evidencias científicas que demuestren que el crecimiento de los rodolitos este directamente relacionado con los factores expuestos anteriormente.

En la costa del Caribe existe una gran cantidad de aportes sedimentarios de los ríos que bajan de las cadenas volcánicas de Guanacaste y de la Cordillera Central como el río San Juan, al norte con todos sus afluentes (figura 28) como asegura Battistini y Bergoeing (1984), esto es debido al clima lluvioso de esta zona del país diferenciándose así de la zona del Pacífico, más seca y con unos ríos menos caudalosos (FAO, 2015). Además, en esta zona la marea es muy débil, con una diferencia de 0,75 metros entre pleamar y bajamar (Mora, 2005), por lo tanto, y sumando a esto lo expuesto por Steller y Foster (1995) que afirman que estos organismos se desarrollan en ambientes donde el movimiento del agua evita la sedimentación, apoya la hipótesis de que la ausencia de rodolitos en la costa norte caribeña se diera por los sedimentos aportados en las desembocaduras de los ríos y por el escaso movimiento del agua que presenta esta zona. Debido

a lo expuesto, las causas de la distribución discontinua y las diferencias en el rango de profundidad de los lechos a lo largo de la orilla occidental aún deben ser estudiadas.

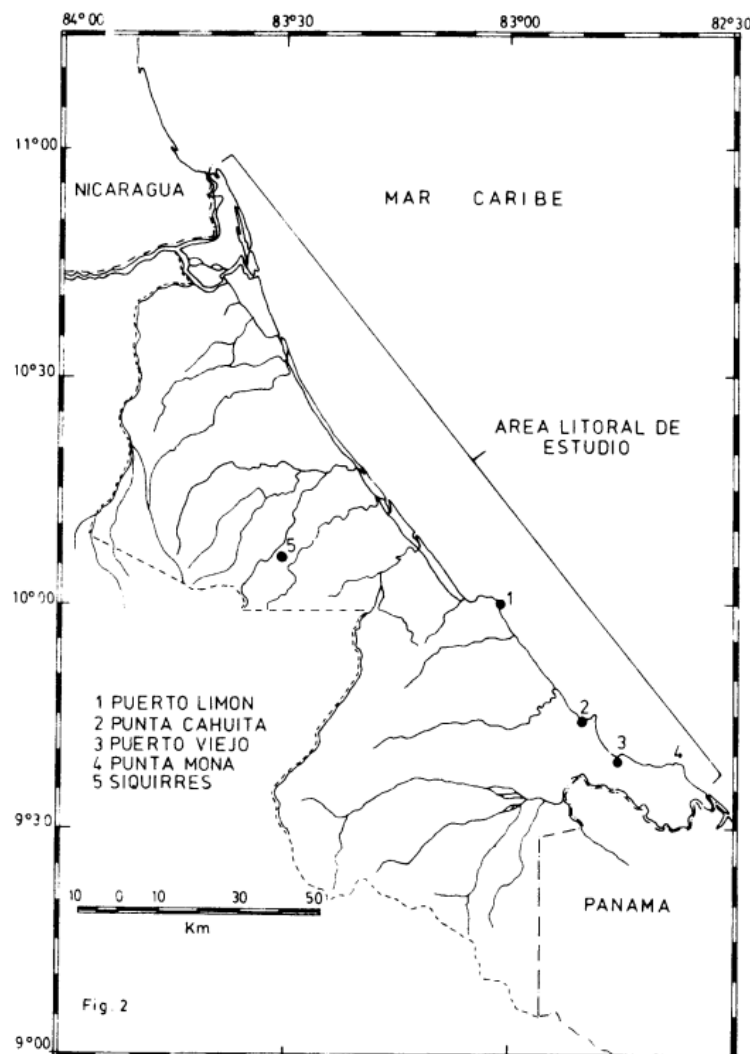


Figura 28: Principales ríos de la costa Caribeña. Fuente Battistini y Bergoeing (1984).

Finalmente, tras la consulta de bibliografía acerca del gran ecosistema que pueden llegar a modelar estos organismos y los daños que los rodolitos están sufriendo debido a diversas actividades antropogénicas, este estudio plantea algunas recomendaciones preliminares para la posible protección de estos ecosistemas siguiendo modelos y sugerencias propuestas en diferentes países:

- Incluir los lechos de rodolitos en las listas de hábitats amenazados por su fragilidad ante las actividades antropogénicas en Costa Rica.
- Proteger las especies más abundantes formadoras de rodolitos en estas zonas.
- Prohibir actividades pesqueras cuyas artes remuevan el sustrato en aquellas zonas en las que se encuentren rodolitos.



- Estudiar más en profundidad la taxonomía y biología de estos organismos para realizar inventarios y poder ampliar el conocimiento científico sobre los rodolitos.
- En zonas ya protegidas, ampliar la vigilancia sobre este tipo de ecosistemas y prestar más atención a su posible degradación.
- En zonas donde existen rodolitos cerca de zonas ya protegidas, ampliar dichas zonas de protección para poder abarcar estos organismos y que puedan gozar de un ambiente libre de perturbaciones.

Estas medidas han sido modificadas y adaptadas a la zona de estudio de proyectos como BIOMAERL (1999), la Directiva Hábitats de la UE (92/43/CEE), la cual protege las principales especies formadoras de rodolitos, y el Convenio sobre la Protección del Medio Marino del Atlántico Nordeste (OSPAR 2006), que incluye los ecosistemas formados por los rodolitos dentro de los hábitats amenazados por las actividades antropogénicas.

Estas medidas fueron tomadas tras numerosos estudios, como el de Barberá (2003) que sugirió que los mantos de rodolitos deberían reconocerse como un hábitat específico y que debería incluirse la gama completa de especies que forman el maërl para su conservación.

Cabe destacar que las zonas donde se han encontrado mantos de rodolitos siempre han sido zonas protegidas, clasificadas como parques naturales, reservas biológicas, refugios de vida silvestre o reservas naturales absolutas. Éstas han presentado una cantidad elevada de ejemplares, ya que sin duda la protección de estas zonas ha favorecido el crecimiento de estas algas.

Con esto y apoyando a las sugerencias de Alvarado (2011) y Robinson (2018) se pretende que los rodolitos cobren mayor protagonismo en las zonas protegidas de Costa Rica, para que puedan desarrollarse sin perturbaciones y, por lo tanto, generar ecosistemas y hábitats que sostienen a un gran número de especies. Es por ello por lo que se proponen cinco áreas de protección o vigilancia en el presente estudio recogidas en las figuras 23, 24, 25, 26 y 27 situadas cuatro de ellas en el Pacífico y una de ellas en el Caribe.

Por todo ello, el presente estudio quiere destacar que, pese a no tener en cuenta los rodolitos en el objeto de la protección de las zonas protegidas donde se encuentran, si se hiciera hincapié en los rodolitos a través de la legislación se podrían desarrollar numerosos mantos y, por lo tanto, aumentaría la biodiversidad de los grandes ecosistemas que se encuentran asociados a ellos.

## CONCLUSIONES

Las conclusiones del presente trabajo acerca de los ambientes de desarrollo y la distribución de los rodolitos en el Pacífico y Caribe de Costa Rica son:

- Los rodolitos han mostrado preferencia por los ambientes que poseen un sustrato de tipo arenoso.
- Los rodolitos presentan una preferencia por aquellas profundidades comprendidas entre los 8 y los 11 metros.
- La distribución de los rodolitos en Costa Rica está favorecida en la costa oeste, es decir, los rodolitos se encuentran en abundancia en el Pacífico mientras que su crecimiento no parece estar favorecido en las costas del mar Caribe.
- Se encuentran evidencias de que las zonas protegidas ayudan al desarrollo de extensos mantos de rodolitos, es por ello por lo que se proponen cinco áreas de protección o vigilancia para estas algas.
- Las propuestas preliminares que ofrece este trabajo para una posible conservación de los rodolitos en Costa Rica son las siguientes:
  - Incluir los lechos de rodolitos en las listas de hábitats amenazados por su fragilidad ante las actividades antropogénicas en Costa Rica.
  - Proteger las especies más abundantes formadoras de rodolitos en estas zonas.
  - Prohibir actividades pesqueras cuyas artes de pesca remuevan el sustrato en aquellas zonas en las que se encuentren rodolitos.
  - Estudiar más en profundidad la taxonomía y biología de estos organismos para realizar inventarios y poder ampliar el conocimiento científico sobre los rodolitos.
  - En zonas ya protegidas, ampliar la vigilancia sobre este tipo de ecosistemas y prestar más atención a su posible degradación.
  - En zonas donde existen rodolitos cerca de zonas ya protegidas, ampliar dichas zonas de protección para poder abarcar estos organismos y que puedan gozar de un ambiente libre de perturbaciones.

## LÍNEAS FUTURAS

Aunque existen numerosos estudios acerca de los rodolitos hoy en día, es muy poco lo que se sabe sobre ellos. Estudios más exhaustivos sobre su distribución y características de ambientes donde se desarrollan ayudarían a esclarecer las particularidades que debe presentar el medio para que su desarrollo fuera óptimo.

La línea futura más importante en el caso de los rodolitos sería una mejora del estudio de las principales especies que forman estas algas, aunque esto podría cambiar según la zona en la que se encuentren. Hoy en día, todavía es complicado ya que el protocolo a seguir es costoso y en muchos casos se necesita de análisis molecular para poder llegar a la especie formadora del rodolito en cuestión.

El conocimiento de estas especies sería un factor fundamental para entender muchas de las características biológicas de los rodolitos, lo que permitiría inferir posibles zonas de colonización deducidas a partir de las condiciones oceanográficas de un área.

Por último, este estudio propone la necesidad de una mayor concienciación y divulgación sobre la importancia de la protección de los rodolitos, ya que éstos sostienen un gran número de especies formadoras de ecosistemas biodiversos

## BIBLIOGRAFÍA Y WEBGRAFÍA

- Adey, W. H., Macintyre, I., (1973). Crustose coralline algae: a re-evaluation in the geological sciences, Geological Society of America Bulletin, 84, 883-904.
- Adey, W. H., McKibbin, D. L., (1970). Studies on the maerl species *Phymatolithon calcareum* (Pallas) nov. comb. and *Lithothamnium coralloides* Crouan in the Ría de Vigo, Botánica marina, 13, 100-106.
- Alvarado, J. J., Herrera, B., Corrales, L., Asch, J., Paaby, P., (2011). Identificación de las prioridades de conservación de la biodiversidad marina y costera en Costa Rica, Revista de Biología Tropical, 59, 829-842.
- Alvarado, J. J., Aguilar, J. F., (2009). Batimetría, salinidad, temperatura y oxígeno disuelto en aguas del Parque Nacional Marino Ballena, Pacífico, Costa Rica, Revista de Biología Tropical, 57, 19-29.
- Barbera, C., Bordehore, C., Borg, J. A., Glémarec, M., Grall, J., Hall-Spencer, J. M., Mora, J., (2003). Conservation and management of northeast Atlantic and Mediterranean maerl beds, Aquatic conservation: marine and freshwater ecosystems, 13, S65-S76.
- Basso, D., (2012). Carbonate production by calcareous red algae and global change, Geodiversitas, 34, 13-33.
- Battistini, R., Bergoeing, J.R., (1984) Geomorfología de la Costa Caribe de Costa Rica, Revista Geográfica, 99, 167-188. <https://www.jstor.org/stable/40992478>.
- Bennett, E. B., (1966). Monthly charts of surface salinity in the eastern tropical Pacific Ocean, Inter-American Tropical Tuna Commission Bulletin, 11, 1-44.
- BIOMAERL (1999). Final Report, BIOMAERL project (Coordinator: PG Moore, University Marine Biological Station Millport, Scotland), EC Contract No. MAS3-CT95-0020, (in 2 vols.) pp 1-541, 542-973+ appendix.
- Birkett, D., Maggs, C., Dring, M., (1998). Maerl (volume V). An overview of dynamic and sensitivity characteristics for conservation management of marine SACs, Scottish Association for Marine Science (UK Marine SACs Project).
- Bittner, L., Payri, C. E., Maneveldt, G. W., Couloux, A., Cruaud, C., De Reviers, B., Le Gall, L., (2011). Evolutionary history of the Corallinales (Corallinophycidae, Rhodophyta) inferred from nuclear, plastidial and mitochondrial genomes, Molecular phylogenetics and evolution, 61, 697-713.
- Blake, C., Maggs, C. A., (2003). Comparative growth rates and internal banding periodicity of maerl species (Corallinales, Rhodophyta) from northern Europe, Phycologia, 42, 606-612.
- Bosellini, A., Ginsburg, R. N., (1971). Form and internal structure of recent algal nodules (rhodolites) from Bermuda, The Journal of Geology, 79, 669-682.

- Bosence, D., Wilson, J., (2003). Maerl growth, carbonate production rates and accumulation rates in the NE Atlantic, *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 13, S21-S31.
- Bosence, D. J., (1984). Construction and preservation of two modern Coralline algal reefs, St Croix, Caribbean, *Palaeontology*, 27, 549-574.
- Bruno, J. F., (2001). Habitat modification and facilitation in benthic marine communities, *Marine community ecology*, 58, 51-73
- Castillo, C. B., (2013). Propuesta de incorporacion proactiva y responsable del sinac en la estrategia REDD+ de Costa Rica desde sus competencias responsabilidades funciones y su marco de prioridades derivadas del plan estrategico, plan de accion y plan de desarrollo forestal, desde las ac y del sistema en su totalidad. Costa Rica. Programa REDD/CCAD-GTZ, Reducción de Emisiones para la Deforestación y Degradación de Bosques PN 2008.2211.4-001.00
- Connor, D. W., Allen, J. H., Golding, N., Lieberknecht, L. M., Northen, K. O., Reker, J. B., (2003). The national marine habitat classification for Britain and Ireland, Joint Nature Conservation Committee, Peterborough.
- ESRI Development Team (2016). ArcMap Geographic Information System (versión 10.5.). Windows. California.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2015). Perfil del país- Costa Rica. Disponible en: <http://www.fao.org/3/ca0416es/CA0416ES.pdf> [Consulta: 08-06-2020].
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2004). Perfil General de Costa Rica. Disponible en: <http://www.fao.org/3/ad668s/ad668s03.htm> [Consulta: 16-04-2020].
- Foster, M. S., (2001). Rhodoliths: between rocks and soft places, *Journal of Phycology*, 37, 659-667.
- Foster, M., Riosmena-Rodríguez, R., Steller, D. L., Woelkerling, W. J., (1997). Living rhodolith beds in the Gulf of California and their implications, Pliocene carbonates and related facies flanking the Gulf of California, Baja California, Mexico, *Geological Society of America special paper*, 127-139.
- Fox, J.,(2005). Rcmdr: R Commander (versión 3.2.2). Windows. Ontario: GNU.
- Frantz, B. R., Kashgarian, M., Coale, K. H., Foster, M. S., (2000). Growth rate and potential climate record from a rhodolith using <sup>14</sup>C accelerator mass spectrometry, *Limnology and Oceanography*, 45, 1773-1777.
- Freiwald, A., Henrich, R., (1994). Reefal coralline algal build-ups within the Arctic Circle: morphology and sedimentary dynamics under extreme environmental seasonality, *Sedimentology*, 41, 963-984.

- Hall-Spencer, J., Kelly, J., Maggs, C., (2010). Background document for maerl, Background document for maerl, OSPAR Commission, 491/2010.
- Harvey, A., Woelkerling, W., (2007). A guide to nongeniculate coralline red algal (Corallinales, Rhodophyta) rhodolith identification, *Ciencias marinas*, 33, 411-426.
- Irvine, L. M., Chamberlain, Y. M., (1994). Corallinales, Hildenbrandiales, HM Stationery Office.
- Johansen, J. R., Rushforth, S. R., Brotherson, J. D., (1981). Subaerial algae of Navajo National Monument, Arizona, *The Great Basin Naturalist*, 433-439.
- Kamenos, N. A., Moore, P. G., Hall-Spencer, J. M., (2004). Nursery-area function of maerl grounds for juvenile queen scallops *Aequipecten opercularis* and other invertebrates, *Marine Ecology Progress Series*, 274, 183-189.
- Kamenos, N., Moore, P., Hall-Spencer, J., (2003). Substratum heterogeneity of dredged vs un-dredged maerl grounds, *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 83, 411-413.
- Kessler, W. S., (2006). The circulation of the eastern tropical Pacific: A review, *Progress in Oceanography*, 69, 181-217.
- Lemoine, P., (1911). Le rôle des algues dans la formation des dépôts calcaires, *Rev. gen. Sci*, 22, 645-50.
- Littler, M. M., Littler, D. S., Hanisak, M. D., (1991). Deep-water rhodolith distribution, productivity, and growth history at sites of formation and subsequent degradation, *Journal of experimental marine biology and ecology*, 150, 163-182.
- Littler, M. M., Littler, D. S., Blair, S. M., Norris, J. N., (1985). Deepest known plant life discovered on an uncharted seamount, *Science*, 227, 57-59.
- Marrack, E. C., (1999). The Relationship between water motion and living rhodolith beds in the Southwestern Gulf of California, Mexico. *Palaos*, 159-171.
- Mora, C., (2005) Factores que afectan la cuenca del río La Estrella y recomendaciones para mejorar la gesion en la zona costera. Limón, Costa Ria. Ciudad Universitaria "Rodrigo Facio", San José, Cost Rica.
- Nebelsick, J. H., Rasser, M. W., Bassi, D., (2005). Facies dynamics in Eocene to Oligocene circumalpine carbonates, *Facies*, 51, 197-217.
- OSPAR (2006). OSPAR Convention for the Protection of the Marine environment of the Northeast Atlantic, meeting of the working group on marine protected areas, species and habitats, Horta, 2-5 Oct. 2006. Criteria and Guidelines for Assessing whether the OSPAR Network of Marine Protected Areas is Ecologically Coherent, first revision, MASH 06/5/3-rev.

- Peña, V., Bárbara, I., (2006). Los fondos marinos de maërl del Parque Nacional de las Islas Atlánticas (Galicia, España): distribución, abundancia y flora asociada, *Nova Acta Científica Compostelana (Biología)*, 15, 7-25.
- Poore, A. G., Graham, S. E., Byrne, M., Dworjanyn, S. A., (2016). Effects of ocean warming and lowered pH on algal growth and palatability to a grazing gastropod, *Marine biology*, 163, 99.
- Potin, P., Floc'h, J., Augris, C., Cabioch, J., (1990). Annual growth rate of the calcareous red alga *Lithothamnion corallioides* (Corallinales, Rhodophyta) in the Bay of Brest, France, *Thirteenth International Seaweed Symposium, 1990*. Springer, 263-267.
- Resources.arcgis.com (2006). *¿Qué Es Arcgis? | Arcgis Resource Center*. Disponible en: <https://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n00000014000000.htm> [Consulta: 26-03-2020].
- Riosmena-Rodríguez, R., (2017). Natural history of rhodolith/maërl beds: their role in near-shore biodiversity and management, *Rhodolith/Maërl beds: A global perspective*. Springer.
- Riosmena-Rodríguez, R., Nelson, W., Aguirre, J., (2017). *Rhodolith/maërl beds: a global perspective*, Springer.
- Riosmena-rodríguez, R., Steller, D. L., Foster, M. S., (2007). Prefacio: Trabajos selectos de investigación sobre rodolitos, *Ciencias marinas*, 33, 334-334.
- Riosmena-Rodríguez, R., (2001). La biodiversidad, implicaciones en mantos de rodolitos en el Golfo de California, *Biodiversitas* 36, 12-14.
- Robinson, N. M. R., (2018). Sistemática de las especies de algas coralinas (corallinophycidae, rhodophyta) formadoras de mantos de rodolitos en el Pacífico Tropical oriental, Universidad Autónoma de Baja California, Baja California.
- Ruiz Ochoa, M. A., (2011). Variabilidad de la Cuenca Colombia (mar Caribe) asociada con El Niño-Oscilación del Sur, vientos Alisios y procesos locales, *Escuela de Geociencias y Medio Ambiente*.
- Salomidi, M., Katsanevakis, S., Borja, A., Braeckman, U., Damalas, D., Galparsoro, I., Mifsud, R., Mirto, S., Pascual, M., Pipitone, C., Rabaut, M., Todorova, V., Vassilopoulou, V., Vega- Fernandez, T., (2012). Assessment of goods and services, vulnerability, and conservation status of European seabed biotopes: a stepping stone towards ecosystem-based marine spatial management, *Mediterranean Marine Science* 13, 49-88.
- Scoffin, T. P., Stoddart, D. R., Tudhope, A. W., Woodroffe, C., (1985). Rhodoliths and coralloliths of Muri Lagoon, Rarotonga, Cook Islands, *Coral Reefs*, 4, 71-80.
- Sibaja, J., (2010). Propuesta de Estructura Organizacional SINAC. Proyecto Superando Barreras para el Logro de la Sostenibilidad del Sistema de Áreas Protegidas de Costa Rica. San José, Costa Rica, Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE).
- SINAC.go.cr. (2009). Sistema Nacional De Áreas De Conservación (SINAC). [online] Disponible en: <http://www.sinac.go.cr/ES/conozca/Paginas/default.aspx> [Consulta: 28-04-2020].

- SPSS Statistics IBM Corp. (2012). IBM SPSS Statistics (versión 21). Windows. Armonk, Nueva York: IBM Corp.
- Steller, D. L., Riosmena-Rodríguez, R., Foster, M. S., (2009). Living rhodolith bed ecosystems in the Gulf of California, Atlas of Coastal Ecosystems in the Gulf of California: Past and Present, University of Arizona Press, Tucson, AZ, 72-82.
- Steller, D. L., Riosmena-Rodríguez, R., Foster, M., Roberts, C., (2003). Rhodolith bed diversity in the Gulf of California: the importance of rhodolith structure and consequences of disturbance, Aquatic conservation: marine and freshwater ecosystems, 13, S5-S20.
- Steller, D. L., Foster, M. S., (1995). Environmental factors influencing distribution and morphology of rhodoliths in Bahía Concepción, BCS, México, Journal of experimental marine biology and ecology, 194, 201-212.
- Steneck, R. S., (1986). The ecology of coralline algal crusts: convergent patterns and adaptative strategies, Annual review of ecology and systematics, 17, 273-303.
- Tompkins, P. A., (2011). Distribution, growth, and disturbance of Catalina Island rhodoliths. San José State University, San José Costa Rica.
- United Nations Environment Programme (2008). Action Plan for the conservation of the coralligenous and other calcareous bioconcretions in the Mediterranean Sea, UNEP-MAP-RAC-SPA publ., Tunis.
- Wilson, S., Blake, C., Berges, J. A., Maggs, C. A., (2004). Environmental tolerances of free-living coralline algae (maerl): implications for European marine conservation, Biological conservation, 120, 279-289.
- Yabur-Pacheco, R., Riosmena-Rodríguez, R., (2007). Rhodolith bed composition in the southwestern Gulf of California, Mexico, Seto Marine Biological Laboratory, 8, 37-47. <http://hdl.handle.net/2433/70912>



## ANEXO I

Tabla I.1: Base de datos creada a partir de las muestras presentes en el CIMAR y en el Herbario de la Universidad de Costa Rica.

| Código            | Identificación campo              | Combinación ID CAMPO con FINAL | Identificación FINAL     | Filo       | Sustrato       | Prof     | Media profundidad ad (metros) | Sitio   | País       | Coordenadas                     | Coordenadas DECIMALES |              | Fecha      | Seco | Formalina | Bolsa | Comentario |
|-------------------|-----------------------------------|--------------------------------|--------------------------|------------|----------------|----------|-------------------------------|---|------------|---------------------------------|-----------------------|--------------|------------|------|-----------|-------|------------|
| MUESTRAS HERBARIO |                                   |                                |                          |            |                |          |                               |   |            |                                 |                       |              |            |      |           |       |            |
| USJA73418         | Lithoporella pacifica             |                                |                          | Rhodophyta | arenoso        | 0.5-1m   | 0,75                          | Puntarenas, Reserva Biológica Isla del Caño, Bajo Beltrán   | Costa Rica | 08° 43' 01.3"N 83° 52' 40.5" W  | 8,71702800            | -83,87791700 | 01/05/2008 |      |           |       | Rodolito   |
| USJA73420         | Porolithon castellum              |                                |                          | Rhodophyta | arenoso        | 0.5-1m   | 0,75                          | Puntarenas, Reserva Biológica Isla del Caño, Bajo Beltrán Parque Nacional                         | Costa Rica | 08° 43' 01.3" N 83° 52' 40.5" W | 8,71702800            | -83,87791700 | 01/05/2006 |      |           |       | Rodolito   |
| USJA 73179        | Neogoniolithon strictum/rodolito  | Neogoniolithon strictum        | Neogoniolithon strictum  | Rhodophyta | rocoso         | 0,50 a 1 | 0,75                          | Cahuita, Laguna del arrecife en Punta Cahuita   | Costa Rica | 9°44'53.65" N 82°48'41.91" W    | 9,748236              | -82,81164200 | 10/17/2003 | 1    | 0         |       | Rodolito   |
| USJA 73178        | Lithophyllum congestum/Rodolito   | Lithophyllum congestum         | Lithophyllum congestum   | Rhodophyta | arenoso        | 2        | 2                             | Parque Nacional Cahuita, arrastrado a la laya antes de llegar a Punta Cahuita desde Puerto Vargas | Costa Rica | 9°44'54.2"N 82°48'45.5"W        | 9,74839200            | -82,81264200 | 3/22/2004  | 1    | 0         |       | Rodolito   |
| USJA 73059        | Neogoniolithon affine/rodolito    | Neogoniolithon affine          | Neogoniolithon affine    | Rhodophyta | rocoso         | 5 a 9    | 7                             | Parque Nacional Cahuita, arrecife externo frente a la cresta                                      | Costa Rica | 9°44'36.8"N 82°48'13.2"W        | 9,74355200            | -82,80366900 | 10/19/2003 | 1    | 0         |       | Rodolito   |
| USJA 73232        | Lithophyllum congestum/Rodolito   | Lithophyllum congestum         | Lithophyllum congestum   | Rhodophyta | arenoso        | 0,50 a 1 | 0,75                          | Punta Cócles, arrecife de Playa Chiquita  | Costa Rica | 9°38'41.9"N 82°42'52.1"W        | 9,64                  | -82,71448200 | 05/06/2004 | 1    | 0         |       | Rodolito   |
| USJA 73186        | Neogoniolithon strictum           | Neogoniolithon strictum        | Neogoniolithon strictum  | Rhodophyta | arenoso        | 0,50 a 1 | 0,75                          | Parque Nacional Cahuita, Laguna del arrecife en Punta Cahuita                                     | Costa Rica | 9°45'02.6"N 82°49'01.2"W        | 9,75072700            | -82,81700500 | 5/17/2003  | 1    | 0         |       | Rodolito   |
| USJA 73210        | Paragoniolithon solubile/Rodolito | Paragoniolithon solubile       | Paragoniolithon solubile | Rhodophyta | arenoso        | 0,50 a 1 | 0,75                          | Parque Nacional Cahuita, Laguna del arrecife en Punta Cahuita                                     | Costa Rica | 9°45'02.6"N 82°49'01.2"W        | 9,75072700            | -82,81700500 | 10/17/2003 | 1    | 0         |       | Rodolito   |
| USJA 73238        | Lithophyllum congestum/Rodolito   | Lithophyllum congestum         | Lithophyllum congestum   | Rhodophyta | arenoso        | 0,50 a 1 | 0,75                          | Punta Cócles, arrecife de Playa Chiquita  | Costa Rica | 9°38'41.9"N 82°42'52.1"W        | 9,64                  | -82,71448200 | 05/06/2004 | 1    | 0         |       | Rodolito   |
| USJA 73412        |                                   |                                |                          | Rhodophyta | ido (Rodolito) | 18       | 18                            | Prov, de punta Arenas, Reserva Biológica Isla del Caño  | Costa Rica | 8°41'51.1"N 83°53'33.4"W        | 8,697528              | -83,89261100 |            |      |           |       | Rodolito   |
| USJA 73220        | Lithophyllum congestum/Rodolito   | Lithophyllum congestum         | Lithophyllum congestum   | Rhodophyta | Sólido         | 0,2-0,8  | 0,5                           | Península de Nicoya, Playa Sámara, Cangrejal  | Costa Rica | 9°52'15.1"N 85°31'49.5"W        | 9,87                  | -85,53042500 |            |      |           |       | Rodolito   |
| USJA 73415        |                                   |                                |                          | Rhodophyta | ido (Rodolito) | 18       | 18                            | Prov, de punta Arenas, Reserva Biológica Isla del Caño, lado sur de la isla, área de rodolitos    | Costa Rica | 8° 41'51.1N 83°53'33.4"W        | 8,697528              | -83,89261100 |            |      |           |       | Rodolito   |

MUESTRAS CIMAR

|          |  |            |                    |        |      |  |            |                |               |             |              |             |   |   |   |          |
|----------|--|------------|--------------------|--------|------|--|------------|----------------|---------------|-------------|--------------|-------------|---|---|---|----------|
| CFCR-785 | <i>Lithothamnion muelleri</i>                | Rhodophyta | rocoso             | 4-5m   | 4,5  | Bajo Tres Hermana, PNMB                              | Costa Rica | 09°06'25.65" N | 83°42'39.33"W | 9,10712500  | -83,71092500 | 16/07/20 09 |   |   |   |          |
| CFCR-790 | <i>Lithothamnion muelleri</i>                | Rhodophyta | rocoso             | 4-5M   | 4,5  | Bajo Tres Hermana, PNMB                              | Costa Rica | 09°06'25.65" N | 83°42'39.33"W | 9,10712500  | -83,71092500 | 16/07/20 10 |   |   |   |          |
| CFCR-791 | <i>Rodolito</i>                              | Rhodophyta | rocoso             | 4-5 m  | 4,5  | Bajo Tres Hermanas, PNMB                             | Costa Rica | 09°06'25.65"N  | 83°42'39.33"W | 9,10712500  | -83,71092500 | 16-07-09    |   |   |   |          |
| CFCR-798 | <i>Lithothamnion muelleri</i>                | Rhodophyta | arenoso            | 15-16M | 15,5 | Isla Ballena, costa sur, PNMB                        | Costa Rica | 9°06'1606"N    | 83°43'36.95"W | 9,10446100  | -83,72693100 | 16/07/20 11 |   |   |   |          |
| CFCR-805 | <i>Lithothamnion sp.</i>                     | Rhodophyta | arenoso            | 10 M   | 10   | Catarata 1, Isla del Caño                            | Costa Rica | 08°42'52.7"N   | 83°52'03.0"W  | 8,71463900  | -83,86750000 | 18/07/20 09 |   |   |   |          |
| CFCR-806 | <i>Lithothamnion sp.</i>                     | Rhodophyta | arenoso            | 10 M   | 10   | Catarata 1, Isla del Caño                            | Costa Rica | 08°42'52.7"N   | 83°52'03.0"W  | 8,71463900  | -83,86750000 | 18/07/20 09 |   |   |   |          |
| CFCR-816 | <i>Porolithon castellum</i>                  | Rhodophyta | arenoso            | 4 M    | 4    | El Jardin, Isla del Caño                             | Costa Rica | 08°42'55.7"N   | 83°52'28.3"W  | 8,71547200  | -83,87452800 | 19/07/20 09 |   |   |   |          |
| CFCR-817 | <i>Porolithon castellum</i>                  | Rhodophyta | arenoso            | 4 M    | 4    | El Jardin, Isla del Caño                             | Costa Rica | 08°42'55.7"N   | 83°52'28.3"W  | 8,71547200  | -83,87452800 | 19/07/20 09 |   |   |   |          |
| CFCR-832 | <i>Lithophyllum sp</i>                       | Rhodophyta | rocoso             | 2-3 M  | 2,5  | San Josecito   | Costa Rica | 8°40'15.4"N    | 83°43'6.5"W   | 8,67094400  | -83,71847200 | 21/07/20 09 |   |   |   |          |
| CFCR-852 | <i>Lithothamnion muelleri</i>                | Rhodophyta | arenoso            | 7 M    | 7    | Isla Despensa, Bahía Salinas                         | Costa Rica | 11°00'09.5"N   | 85°44'51.2"W  | 11,00263900 | -85,74755600 | 28/07/20 09 |   |   |   |          |
| CFCR-876 | <i>Lithothamnion muelleri</i>                | Rhodophyta | rocoso             | 5-6 M  | 5,5  | Bahía Virador, Bahía Culebra                         | Costa Rica | 10°36'51.6"N   | 85°41'25.0"W  | 10,61433300 | -85,69027800 | 01/08/20 09 |   |   |   |          |
| CFCR-876 | <i>rodolito/ Lithothamiun muel</i>           | Rhodophyta | muerto             | 5-6m   | 5,5  | Bahía Culebra,                                       | Costa Rica | 10°36'51.6"N   | 85°41'25.0"W  | 10,61433300 | -85,69027800 | 01-08-09    |   |   |   |          |
|          | <i>Lithothamiun muelk Lithothamiun muelk</i> | Rhodophyta | Pavona             |        |      | Guanacaste   |            |                |               |             |              |             |   |   |   | 1        |
| CFCR-909 | <i>Rodolito</i>                              | Rhodophyta | rocoso             | 12 m   | 12   | Tolinga, Lado Sur de Islas Tortugas, Golfo de Nicoya | Costa Rica | 09°45'50.3"N   | 84°53'51.1"W  | 9,76397200  | -84,89752800 | 03-08-09    |   |   |   |          |
| UCR-1120 | <i>Rodolito</i>                              | Rhodophyta | rocoso             | 4m     | 4    | Bajo Los Castillo, Sámara                            | Costa Rica | 9°52'13.10"N   | 85°31'37.00"O | 9,87030600  | -85,52694400 | 05-06-13    |   | 1 | 1 | No photo |
| UCR-1122 | <i>Rodolito</i>                              | Rhodophyta | rocoso             | 3-6m   | 4,5  | El Muñeco, Camaronal                                 | Costa Rica | 9°51'17.80"N   | 85°27'32.30"O | 9,85494400  | -85,45897200 | 04-06-13    | 1 |   |   | No photo |
| UCR-1137 | <i>Rodolito</i>                              | Rhodophyta | Sobre roca         | 4m     | 4    | Bajo Los Castillo, Sámara                            | Costa Rica | 9°52'13.10"N   | 85°31'37.00"O | 9,87030600  | -85,52694400 | 05-06-13    | 1 |   |   | No photo |
| UCR-1299 | <i>Rodolitos</i>                             | Rhodophyta | Sobre roca         | 3-4m   | 3,5  | Punta Carrillo, Carrillo                             | Costa Rica | 9°51'39.60"N   | 85°29'12.60"O | 9,86100000  | -85,48683300 | 06-02-14    |   | 1 | 1 |          |
| UCR-1337 | <i>Rodolitos morfo redondo</i>               | Rhodophyta | Manto de rodolitos | 22m    | 22   | Isla Pájara, Isla del Coco                           | Costa Rica | 5°33'14.80"N   | 87°3'14.70"O  | 5,55411100  | -87,05408300 | 25-02-14    |   | 1 | 1 |          |
| UCR-1338 | <i>rodolitos morfo ramificado</i>            | Rhodophyta | Manto de rodolitos | 22m    | 22   | Isla Pájara, Isla del Coco                           | Costa Rica | 5°33'14.80"N   | 87°3'14.70"O  | 5,55411100  | -87,05408300 | 25-02-14    |   | 1 | 1 |          |
| UCR-1346 | <i>Rodolito sp común</i>                     | Rhodophyta | rocoso             | 13-15m | 14   | Punta María, Isla del Coco                           | Costa Rica | 5°32'7.30"N    | 87°5'12.50"W  | 5,53536100  | -87,08680600 | 26-02-14    |   |   |   | 1        |

|          |                                 |            |                                 |          |    |   |            |              |               |            |              |          |   |   |   |                    |
|----------|---------------------------------|------------|---------------------------------|----------|----|---|------------|--------------|---------------|------------|--------------|----------|---|---|---|--------------------|
| UCR-1348 | <i>Rodolito sp común</i>        | Rhodophyta | rocoso                          | 13-15m   | 14 | Punta María, Isla del Coco                | Costa Rica | 5°32'7.30"N  | 87°5'12.50"W  | 5,53536100 | -87,08680600 | 26-02-14 | 1 | 1 | 1 |                    |
|          | <i>Rodolito sp2 rojo oscuro</i> | Rhodophyta | rocoso                          | 13-15m   | 14 | Punta María, Isla del Coco                | Costa Rica | 5°32'7.30"N  | 87°5'12.50"W  | 5,53536100 | -87,08680600 | 26-02-14 |   | 1 | 1 |                    |
| UCR-1479 | <i>Rhodolito</i>                | Rhodophyta | Rocoso                          | 5        | 5  | Playa Biesanz, Manuel Antonio, Puntarenas | Costa Rica | 09°24'05.6"N | 084°10'06.7"W | 9,40155600 | -84,16852800 | 11-09-14 |   | 1 | 1 | Con fotografía     |
| UCR-1496 | <i>Rhodolito</i>                | Rhodophyta | Rocoso                          | 4        | 4  | Punta Bocana, Herradura, Puntarenas       | Costa Rica | 09.63476'    | 084.66054'    |            |              | 08-10-14 | 1 |   |   | Con fotos de campo |
| UCR-1509 | <i>Rodolitos</i>                | Rhodophyta | Sobre arena: manto de rodolitos | 8-12 mts | 10 | El Jardín, RB Isla del Caño, Puntarenas   | Costa Rica | 8°42'55.70"N | 83°52'28.30"O | 8,71547200 | -83,87452800 | 31-07-15 |   |   |   |                    |
| UCR-1510 | <i>Rodolitos</i>                | Rhodophyta | Sobre arena: manto de rodolitos | 8-12 mts | 10 | El Jardín, RB Isla del Caño, Puntarenas   | Costa Rica | 8°42'55.70"N | 83°52'28.30"O | 8,71547200 | -83,87452800 | 31-07-15 |   |   |   | 1                  |
| UCR-1511 | <i>Rodolitos</i>                | Rhodophyta | Sobre arena: manto de rodolitos | 8-12 mts | 10 | El Jardín, RB Isla del Caño, Puntarenas   | Costa Rica | 8°42'55.70"N | 83°52'28.30"O | 8,71547200 | -83,87452800 | 31-07-15 |   |   |   | 1                  |
| UCR-1512 | <i>Rodolitos</i>                | Rhodophyta | Sobre arena: manto de rodolitos | 8-12 mts | 10 | El Jardín, RB Isla del Caño, Puntarenas   | Costa Rica | 8°42'55.70"N | 83°52'28.30"O | 8,71547200 | -83,87452800 | 31-07-15 | 1 |   |   |                    |
| UCR-1513 | <i>Rodolitos</i>                | Rhodophyta | Sobre arena: manto de rodolitos | 8-12 mts | 10 | El Jardín, RB Isla del Caño, Puntarenas   | Costa Rica | 8°42'55.70"N | 83°52'28.30"O | 8,71547200 | -83,87452800 | 31-07-15 | 1 |   |   |                    |
| UCR-1514 | <i>Rodolitos</i>                | Rhodophyta | Sobre arena: manto de rodolitos | 8-12 mts | 10 | El Jardín, RB Isla del Caño, Puntarenas   | Costa Rica | 8°42'55.70"N | 83°52'28.30"O | 8,71547200 | -83,87452800 | 31-07-15 |   |   |   | 1                  |
| UCR-1515 | <i>Rodolitos</i>                | Rhodophyta | Sobre arena: manto de rodolitos | 8-12 mts | 10 | El Jardín, RB Isla del Caño, Puntarenas   | Costa Rica | 8°42'55.70"N | 83°52'28.30"O | 8,71547200 | -83,87452800 | 31-07-15 |   |   |   | 1                  |
| UCR-1516 | <i>Rodolitos</i>                | Rhodophyta | Sobre arena: manto de rodolitos | 8-12 mts | 10 | El Jardín, RB Isla del Caño, Puntarenas   | Costa Rica | 8°42'55.70"N | 83°52'28.30"O | 8,71547200 | -83,87452800 | 31-07-15 |   |   |   | 1                  |
| UCR-1517 | <i>Rodolitos</i>                | Rhodophyta | Sobre arena: manto de rodolitos | 8-12 mts | 10 | El Jardín, RB Isla del Caño, Puntarenas   | Costa Rica | 8°42'55.70"N | 83°52'28.30"O | 8,71547200 | -83,87452800 | 31-07-15 | 1 |   |   |                    |
| UCR-1518 | <i>Rodolitos</i>                | Rhodophyta | Sobre arena: manto de rodolitos | 8-12 mts | 10 | El Jardín, RB Isla del Caño, Puntarenas   | Costa Rica | 8°42'55.70"N | 83°52'28.30"O | 8,71547200 | -83,87452800 | 31-07-15 |   |   |   | 1                  |
| UCR-1519 | <i>Rodolitos</i>                | Rhodophyta | Sobre arena: manto de rodolitos | 8-12 mts | 10 | El Jardín, RB Isla del Caño, Puntarenas   | Costa Rica | 8°42'55.70"N | 83°52'28.30"O | 8,71547200 | -83,87452800 | 31-07-15 | 1 |   |   |                    |
| UCR-1520 | <i>Rodolitos</i>                | Rhodophyta | Sobre arena: manto de rodolitos | 8-12 mts | 10 | El Jardín, RB Isla del Caño, Puntarenas   | Costa Rica | 8°42'55.70"N | 83°52'28.30"O | 8,71547200 | -83,87452800 | 31-07-15 | 1 |   |   |                    |
| UCR-1521 | <i>Rodolitos</i>                | Rhodophyta | Sobre arena: manto de rodolitos | 8-12 mts | 10 | El Jardín, RB Isla del Caño, Puntarenas   | Costa Rica | 8°42'55.70"N | 83°52'28.30"O | 8,71547200 | -83,87452800 | 31-07-15 |   |   |   | 1                  |
| UCR-1522 | <i>Rodolitos</i>                | Rhodophyta | Sobre arena: manto de rodolitos | 8-12 mts | 10 | El Jardín, RB Isla del Caño, Puntarenas   | Costa Rica | 8°42'55.70"N | 83°52'28.30"O | 8,71547200 | -83,87452800 | 31-07-15 |   |   |   | 1                  |

|           |           |             |             |                                 |          |    |   |            |              |               |            |              |          |    |
|-----------|-----------|-------------|-------------|---------------------------------|----------|----|---|------------|--------------|---------------|------------|--------------|----------|----|
| UCR-1523  | Rodolitos |             |             | Sobre arena: manto de rodolitos | 8-12 mts | 10 | El Jardín, RB Isla del Caño, Puntarenas | Costa Rica | 8°42'55.70"N | 83°52'28.30"O | 8,71547200 | -83,87452800 | 31-07-15 | 1  |
| UCR-1524  | Rodolitos |             |             | Sobre arena: manto de rodolitos | 8-12 mts | 10 | El Jardín, RB Isla del Caño, Puntarenas | Costa Rica | 8°42'55.70"N | 83°52'28.30"O | 8,71547200 | -83,87452800 | 31-07-15 | 1  |
| UCR-1525  | Rodolitos |             |             | Sobre arena: manto de rodolitos | 8-12 mts | 10 | El Jardín, RB Isla del Caño, Puntarenas | Costa Rica | 8°42'55.70"N | 83°52'28.30"O | 8,71547200 | -83,87452800 | 31-07-15 | 1  |
| UCR-1526  | Rodolitos |             |             | Sobre arena: manto de rodolitos | 8-12 mts | 10 | El Jardín, RB Isla del Caño, Puntarenas | Costa Rica | 8°42'55.70"N | 83°52'28.30"O | 8,71547200 | -83,87452800 | 31-07-15 | 1  |
| UCR-1527  | Rodolitos |             |             | Sobre arena: manto de rodolitos | 8-12 mts | 10 | El Jardín, RB Isla del Caño, Puntarenas | Costa Rica | 8°42'55.70"N | 83°52'28.30"O | 8,71547200 | -83,87452800 | 31-07-15 | 1  |
| UCR-1528a | Rodolitos |             |             | Sobre arena: manto de rodolitos | 8-12 mts | 10 | El Jardín, RB Isla del Caño, Puntarenas | Costa Rica | 8°42'55.70"N | 83°52'28.30"O | 8,71547200 | -83,87452800 | 31-07-15 | 1? |
| UCR-1528b | Rodolitos | Peyssonelia | Peyssonelia | Sobre arena: manto de rodolitos | 8-12 mts | 10 | El Jardín, RB Isla del Caño, Puntarenas | Costa Rica | 8°42'55.70"N | 83°52'28.30"O | 8,71547200 | -83,87452800 | 31-07-15 |    |
| UCR-1529  | Rodolitos | Peyssonelia | Peyssonelia | Sobre arena: manto de rodolitos | 8-12 mts | 10 | El Jardín, RB Isla del Caño, Puntarenas | Costa Rica | 8°42'55.70"N | 83°52'28.30"O | 8,71547200 | -83,87452800 | 31-07-15 | 1  |
| UCR-1530  | Rodolitos |             |             | Sobre arena: manto de rodolitos | 8-12 mts | 10 | El Jardín, RB Isla del Caño, Puntarenas | Costa Rica | 8°42'55.70"N | 83°52'28.30"O | 8,71547200 | -83,87452800 | 31-07-15 | 1  |
| UCR-1531  | Rodolitos |             |             | Sobre arena: manto de rodolitos | 8-12 mts | 10 | El Jardín, RB Isla del Caño, Puntarenas | Costa Rica | 8°42'55.70"N | 83°52'28.30"O | 8,71547200 | -83,87452800 | 31-07-15 | 1  |
| UCR-1532  | Rodolitos |             |             | Sobre arena: manto de rodolitos | 8-12 mts | 10 | El Jardín, RB Isla del Caño, Puntarenas | Costa Rica | 8°42'55.70"N | 83°52'28.30"O | 8,71547200 | -83,87452800 | 31-07-15 | 1  |
| UCR-1533  | Rodolitos |             |             | Sobre arena: manto de rodolitos | 8-12 mts | 10 | El Jardín, RB Isla del Caño, Puntarenas | Costa Rica | 8°42'55.70"N | 83°52'28.30"O | 8,71547200 | -83,87452800 | 31-07-15 | 1  |
| UCR-1534  | Rodolitos |             |             | Sobre arena: manto de rodolitos | 8-12 mts | 10 | El Jardín, RB Isla del Caño, Puntarenas | Costa Rica | 8°42'55.70"N | 83°52'28.30"O | 8,71547200 | -83,87452800 | 31-07-15 | 1  |
| UCR-1535  | Rodolitos |             |             | Sobre arena: manto de rodolitos | 8-12 mts | 10 | El Jardín, RB Isla del Caño, Puntarenas | Costa Rica | 8°42'55.70"N | 83°52'28.30"O | 8,71547200 | -83,87452800 | 31-07-15 | 1  |
| UCR-1537  | Rodolitos |             |             | Sobre arena: manto de rodolitos | 8-12 mts | 10 | El Jardín, RB Isla del Caño, Puntarenas | Costa Rica | 8°42'55.70"N | 83°52'28.30"O | 8,71547200 | -83,87452800 | 31-07-15 | 1  |
| UCR-1538  | Rodolitos |             |             | Sobre arena: manto de rodolitos | 8-12 mts | 10 | El Jardín, RB Isla del Caño, Puntarenas | Costa Rica | 8°42'55.70"N | 83°52'28.30"O | 8,71547200 | -83,87452800 | 31-07-15 | 1  |
| UCR-1539  | Rodolitos |             |             | Sobre arena: manto de rodolitos | 8-12 mts | 10 | El Jardín, RB Isla del Caño, Puntarenas | Costa Rica | 8°42'55.70"N | 83°52'28.30"O | 8,71547200 | -83,87452800 | 31-07-15 | 1  |
| UCR-1540  | Rodolitos |             |             | Sobre arena: manto de rodolitos | 8-12 mts | 10 | El Jardín, RB Isla del Caño, Puntarenas | Costa Rica | 8°42'55.70"N | 83°52'28.30"O | 8,71547200 | -83,87452800 | 31-07-15 | 1  |

|          |                      |                                  |          |     |   |            |              |               |             |              |          |   |          |
|----------|----------------------|----------------------------------|----------|-----|---|------------|--------------|---------------|-------------|--------------|----------|---|----------|
| UCR-1541 | Rodolitos            | Sobre arena: manto de Rhodophyta | 8-12 mts | 10  | El Jardín, RB Isla del Caño, Puntarenas | Costa Rica | 8°42'55.70"N | 83°52'28.30"O | 8,71547200  | -83,87452800 | 31-07-15 | 1 |          |
| UCR-1542 | Rodolitos            | Sobre arena: manto de Rhodophyta | 8-12 mts | 10  | El Jardín, RB Isla del Caño, Puntarenas | Costa Rica | 8°42'55.70"N | 83°52'28.30"O | 8,71547200  | -83,87452800 | 31-07-15 | 1 |          |
| UCR-1543 | Rodolitos            | Sobre arena: manto de Rhodophyta | 8-12 mts | 10  | El Jardín, RB Isla del Caño, Puntarenas | Costa Rica | 8°42'55.70"N | 83°52'28.30"O | 8,71547200  | -83,87452800 | 31-07-15 | 1 |          |
| UCR-1544 | Rodolitos            | Sobre arena: manto de Rhodophyta | 8-12 mts | 10  | El Jardín, RB Isla del Caño, Puntarenas | Costa Rica | 8°42'55.70"N | 83°52'28.30"O | 8,71547200  | -83,87452800 | 31-07-15 | 1 |          |
| UCR-1545 | Rodolitos            | Sobre arena: manto de Rhodophyta | 8-12 mts | 10  | El Jardín, RB Isla del Caño, Puntarenas | Costa Rica | 8°42'55.70"N | 83°52'28.30"O | 8,71547200  | -83,87452800 | 31-07-15 | 1 |          |
| UCR-1546 | Rodolitos            | Sobre arena: manto de Rhodophyta | 8-12 mts | 10  | El Jardín, RB Isla del Caño, Puntarenas | Costa Rica | 8°42'55.70"N | 83°52'28.30"O | 8,71547200  | -83,87452800 | 31-07-15 | 1 |          |
| UCR-1595 | Rodolitos            | Cascajo Rhodophyta sobre arena   | 15 mts   | 15  | Bajo Pochote, Islas Murcielago          | Costa Rica | 10°51'31.9"N | 85°55'23.4"W  | 10,85886100 | -85,92316700 | 25-11-15 |   |          |
| UCR-1985 | Rodolito             | Rhodophyta cascajo               | 6-8 m    | 7   | Piedra Ballena                          | Costa Rica | 9.104650 N   | 83.72309 W    | 9,10465000  | -83,72309000 | 15-02-17 | 1 |          |
| UCR-1986 | Rodolito             | Rhodophyta cascajo               | 7-8 m    | 7,5 | Piedra Ballena                          | Costa Rica | 9.104650 N   | 83.72309 W    | 9,10465000  | -83,72309000 | 15-02-17 | 1 |          |
| UCR-1987 | Pocillopora/rodolito | Coral arena                      | 6 m      | 6   | Tombolo Sur PNMB                        | Costa Rica | 9.142614N    | 83.76261W     | 9,14261400  | -83,76261000 | 15-02-17 |   |          |
| UCR-1988 | Rodolito             | Rhodophyta cascajo               | 6-8 m    | 7   | Piedra Ballena                          | Costa Rica | 9.104650 N   | 83.72309 W    | 9,10465000  | -83,72309000 | 15-02-17 | 1 |          |
| UCR-1989 | Pocillopora/rodolito | coral arena                      | 6 m      | 6   | Tombolo Sur PNMB                        | Costa Rica | 9.142614N    | 83.76261W     | 9,14261400  | -83,76261000 | 15-02-17 |   |          |
| UCR-1990 | Rodolito             | Rhodophyta cascajo               | 6-8 m    | 7   | Piedra Ballena                          | Costa Rica | 9.104650 N   | 83.72309 W    | 9,10465000  | -83,72309000 | 15-02-17 | 1 |          |
| UCR-1083 | Rodolito             | Ideterminada Sobre roca          | 8-12m    | 10  | Güri güri, Bahía Culebra, Guanacaste    | Costa Rica | 10°36'51.0"N | 85°41'25.1"W  | 10,61416700 | -85,69030600 |          | 1 | No photo |
| UCR-1084 | Rodolito             | Ideterminada Sobre roca          | 8-12m    | 10  | Güri güri, Bahía Culebra, Guanacaste    | Costa Rica | 10°36'51.0"N | 85°41'25.1"W  | 10,61416700 | -85,69030600 |          | 1 | No photo |
| UCR-1082 | Rodolito             | Ideterminada Sobre roca          | 8-12m    | 10  | Güri güri, Bahía Culebra, Guanacaste    | Costa Rica | 10°36'51.0"N | 85°41'25.1"W  | 10,61416700 | -85,69030600 |          | 1 | No photo |